



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS EM PROCESSOS DE SOLDADURA

Nome do Autor: António Carlos Matos Garrido

Orientador: Professora Doutora Maria de Lurdes Proença de Amorim Dinis (FEUP)
Coorientador: Professor Doutor António Manuel Antunes Fiúza (FEUP)
Arguente: Professor Doutor Davide Sérgio Baptista da Fonseca (UBI)
Presidente do Júri: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista (FEUP)

2013



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt ISN: 3599*654
Telephone: +351 22 508 14 00 Fax: +351 22 508 14 40
URL: <http://www.fe.up.pt> Correio Electrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho resultou do contributo e dedicação de várias pessoas a quem desejo expressar o meu agradecimento:

À Professora Doutora Maria de Lurdes Dinis, pelo interesse, empenho e dedicação com que orientou esta Dissertação.

Ao Professor Doutor João Santos Baptista, diretor do curso de Mestrado, pela sua confiança, incentivo e motivação.

Ao Professor Doutor António Manuel Antunes Fiúza, pelo seu contributo como coorientador deste trabalho, pelo seu interesse e, em particular por ter disponibilizado o equipamento necessário para a realização das medições.

À minha família, em especial à minha esposa Andreia e meus filhos Diogo e Gabriel pela compreensão, carinho gratidão e apoio incondicional e precioso. Aos meus pais e meus sogros.

Às direções das empresas Caetano Baviera, SA, Cancé – Construções Metálicas, Lda e Facosta – Indústria de Cortantes para o Calçado, Lda, por terem aceite a minha presença para a execução das medições, sem as quais não teria sido possível elaborar este trabalho.

RESUMO

Vivemos rodeados de campos eletromagnéticos naturais e artificiais. Com a industrialização, com o aumento da mobilidade e das comunicações a exposição humana às radiações eletromagnéticas sofreu um grande incremento.

Sabe-se hoje que a partir de uma determinada intensidade destes campos, podem surgir efeitos nocivos para a saúde humana. Preocupados com tais efeitos, a comunidade científica internacional tem vindo a desenvolver diversos estudos sobre esta temática e, apesar dos resultados por vezes serem controversos, muito já se evoluiu.

De facto, foi já publicada legislação e normas europeias e internacionais que definem níveis de exposição admissíveis, face ao conhecimento atual, para a população e para os trabalhadores.

Apesar de tudo isto, existe ainda nas populações e nos trabalhadores grande desconhecimento sobre os possíveis efeitos sobre a saúde, normas e legislação em vigor. A falta de divulgação da informação já disponível junto das populações e do mundo empresarial, aliada também ao reduzido número de estudos com medições em diversas áreas, como a soldadura, a diversidade da tecnologia utilizada nos processos de soldadura, evidenciam a necessidade de realizar medições.

Este trabalho pretende avaliar a exposição de trabalhadores a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos em operações de soldadura mais comumente utilizadas nas diversas atividades.

Efetuaram-se também um conjunto de medições, relativas à exposição a campos eletromagnéticos, em alguns equipamentos existentes no mercado nacional com o objetivo de esclarecer e situar os trabalhadores e entidades empregadoras relativamente aos níveis de ação. E, para além disso, permitir tomar consciência da necessidade de introduzir medidas de prevenção/redução da exposição, quer na fase de investimento quer ao longo da vida útil da tecnologia utilizada.

Palavras-chave: Campos eletromagnéticos. Soldadura por arco elétrico. Soldadura por resistência. Exposição. Radiações não Ionizantes.

ABSTRACT

Today, we live surrounded by natural and artificial electromagnetic fields. With the industrialization, the increment of mobility and communications, the human exposure to electromagnetic radiation have grown a lot.

Nowadays, it is well known that exceeding certain intensity level of these fields may give origin to harmful effects to human health. Such effects have become a great concern to the international scientific community who has developed several studies on this matter and, although the results are sometimes controversial, much has been developed.

In fact, specific legislation and European and international standards were already published, defining permissible exposure levels updated to the present knowledge, for the workers and the general public.

Despite all this, there still exist a lack of awareness, concerning the possible health effects, standards and legislation in force, among the workers and the general in the population. The lack of divulgation of the information already available within the population and the industrial sectors, in addition to the small number of studies based on in situ measurements in various areas such as welding, as well as the diversity of the technology used in welding processes, highlight the need to perform measurements in order to assess the exposure.

The aims of this study is to assess the workers exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields, in the welding processes most commonly used in various activities.

A set of measurements were carried out regarding the exposure to electromagnetic fields in some national companies in order to clarify and locate workers and employers in relation to action levels. In addition, the results should clarify of the need to introduce measures to prevent/reduce exposure, at the moment of the investment and over the lifetime of the technology used.

Keywords: Electromagnetic fields. Arc welding. Resistance Welding. Exposure. Non-Ionizing Radiations.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Âmbito e objetivos do trabalho.....	3
1.2	Estrutura do Trabalho	3
2	ESTADO DA ARTE / REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1	Referenciais Tecnológicas e de Contexto	5
2.1.1	Soldadura	6
2.2	Enquadramento Legal e Normativo	9
2.2.1	Legislação Europeia e Nacional	11
2.2.2	ICNIRP	19
2.2.3	WHO (OMS/IARC).....	29
2.2.4	NORMAS	30
2.3	Conhecimento Científico	33
3	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	39
3.1	Radiação Eletromagnética	39
3.1.1	Origem e Classificação	39
3.1.2	Campos Elétricos e Campos Magnéticos	42
3.1.3	Fontes de Campos Eletromagnéticos.....	45
3.2	Efeitos Biológicos dos Campos Eletromagnéticos	49
3.2.1	Campos Eletromagnéticos Estáticos (0 Hz)	52
3.2.2	Campos Eletromagnéticos de Baixa Frequência (1 Hz a 100 kHz)	52
3.2.3	Campos Eletromagnéticos de alta frequência (100 kHz a 300 GHz)	56
4	OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
4.1	Objetivos da Dissertação	59
4.2	Materiais e Métodos.....	59
4.3	Equipamento de medição	63
5	RESULTADOS	67
5.1	Resultados das medições	67
5.1.1	Processo de soldadura MIG/MAG	68

5.1.2	Processo de soldadura por resistência	70
6	DISCUSSÃO	73
7	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	77
7.1	Conclusões.....	77
7.2	Perspetivas Futuras	78
8	BIBLIOGRAFIA	81
	ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Restrições básicas para a densidade de corrente induzida em exposição ocupacional.....	21
Figura 2– Níveis de referência para exposições ocupacionais e do público em geral a campos elétricos variáveis no tempo.	23
Figura 3 – Níveis de referência para exposições ocupacionais e do público em geral a campos magnéticos variáveis no tempo.	23
Figura 4 – Restrições básicas para o público em geral e para a exposição ocupacional em termos de intensidade do campo elétrico interno relativamente aos efeitos sobre o sistema nervoso central (SNC) e o sistema nervoso periférico (SNP).	25
Figura 5 – Restrições básicas para a intensidade do campo elétrico interno (rms) em exposição ocupacional.....	26
Figura 6 – Níveis de referência para a exposição a campos magnéticos variáveis ao longo do tempo.	27
Figura 7 – Níveis de referência para a exposição a campos elétricos variáveis ao longo do tempo.	28
Figura 8 – Níveis de referência para a densidade de fluxo magnético em exposição ocupacional, de acordo com o ICNIRP 1998 (a azul) e o ICNIRP 2010 (a vermelho).....	28
Figura 9 – Sinal de aviso para as emissões de campo magnético da categoria 1 e eletromagnéticas de categoria 2, respetivamente.	32
Figura 10 – Níveis médios de exposição aos campos magnéticos, obtidos ao nível da cintura.	36
Figura 11 – Espectro Eletromagnético.	39
Figura 12 – Distribuição da exposição média à radiação ionizante por tipo de fonte.....	41
Figura 13 – Onda eletromagnética.....	42
Figura 14 – Comparação entre campo elétrico e campo magnético.....	43
Figura 15 – Variação do campo magnético em função da distância à fonte, em linhas elétricas aéreas.....	44
Figura 16 – Variação do campo elétrico em função da distância à fonte, em linhas elétricas aéreas.	44
Figura 17 – Efeito do campo elétrico e do campo magnético na presença de obstáculos...	45
Figura 18 – Vista em perspetiva do campo magnético de uma linha de transporte de energia de 380 kV.....	45
Figura 19 – Redução do campo elétrico devido à proximidade de árvores.....	47

Figura 20 – Comparação dos valores de campos magnéticos de linhas aéreas (a verde) e subterrâneas (a vermelho) da mesma Tensão.....	48
Figura 21 – Variação da densidade de fluxo magnético com a distância, para alguns eletrodomésticos.....	49
Figura 22 – Efeitos biológicos (estimulação) da densidade de corrente induzida na gama de frequências de 1 Hz a 100 kHz.....	50
Figura 23 – Acumulação de cargas na superfície do corpo devido à exposição a campos elétricos de linhas de transmissão.	53
Figura 24 – Fluxo de correntes elétricas circulando em todo o corpo, devido à exposição a campos magnéticos de linhas de transmissão.	53
Figura 25 – Sensações visuais conhecidas como fosfenos podem ser produzidas em campos magnéticos fortes.....	54
Figura 26 – Posicionamento do equipamento de medição relativamente aos cabos de soldadura.	60
Figura 27 - Máquina 1 – ESAB MIG C280.	61
Figura 28 – Máquina 2 – ESAB MIG 5004i.	61
Figura 29 – Máquina de soldar por pontos Blackhawk/CompuSpot WEL 750.....	62
Figura 30 - Equipamento utilizado nas medições Spectran NF-5035.....	65
Figura 31 – Ponto de medição junto às mãos/tocha (Facosta).	68
Figura 32 – Ponto de medição junto às mãos/tocha (Facosta).	68
Figura 33 – Pormenor do local de trabalho, objeto da medição (Cancé).	69
Figura 34 – Pormenor da posição de trabalho-deitado-cabos junto ao corpo (Cancé).	69
Figura 35–Ponto de medição junto à cabeça (Cancé).	70
Figura 36–Ponto de medição junto aos cabos (Cancé).	70
Figura 37- Pormenor do local de trabalho, objeto da medição.	72
Figura 38–Operação com a WEL 750.....	72
Figura 39 – Variação da densidade de fluxo magnético, B, com a distância aos cabos de soldadura.	74
Figura 40– Semi-máscara de proteção (FFP2 NR) utilizada pelos soldadores da Cancé. ..	76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Restrições básicas para o Público em geral, para a exposição CEM (0 Hz – 300 GHz)	13
Tabela 2 – Níveis de referência para o Público em geral, para a exposição CEM (0 Hz – 300 GHz) (valores eficazes e não perturbados).....	13
Tabela 3 – VLE para densidades do fluxo magnético externo (B_0) entre 0 Hz e 1 Hz (campo magnético estático).....	15
Tabela 4 – VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para intensidades do campo elétrico interno entre 1 Hz e 10 MHz.....	16
Tabela 5 – VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais para intensidades do campo elétrico interno entre 1 Hz e 400 Hz.....	16
Tabela 6 – NA para exposições a campos elétricos de 1 Hz a 10 MHz	16
Tabela 7 – NA para exposições a campos magnéticos de 1 Hz e 10 MHz	16
Tabela 8 – NA para corrente de contacto, I_C	17
Tabela 9 – NA para densidades do fluxo magnético de campos magnéticos estáticos	17
Tabela 10 – VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para uma exposição a campos eletromagnéticos de 100 kHz a 6 GHz	17
Tabela 11 – VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais para exposição a campos eletromagnéticos 0,3 GHz a 6 GHz	17
Tabela 12 – VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para exposição a campos eletromagnéticos 6 GHz a 300 GHz	17
Tabela 13 – NA para exposições a campos elétricos e magnéticos de 100 kHz a 300 GHz	18
Tabela 14 – NA para correntes de contacto em estado estacionário e para correntes induzidas nos membros	18
Tabela 15 – Grandezas físicas (dosimétricas/exposimétricas) para especificar as restrições básicas relativas aos CEM nas diversas gamas de frequência.....	20
Tabela 16 - Restrições básicas para a exposição de seres humanos a campos magnéticos e elétricos variáveis ao longo do tempo até 300 GHz	21
Tabela 17– Níveis de referência para a exposição de seres humanos a campos magnéticos e elétricos variáveis ao longo do tempo até 300 GHz	22
Tabela 18 – Níveis de referência para correntes de contacto variáveis no tempo em objetos condutores.....	24
Tabela 19 – Níveis de referência para corrente induzida em qualquer membro nas frequências 10 – 110 MHz.....	24

Tabela 20 - Restrições básicas para exposição de seres humanos a CEM variáveis ao longo do tempo.....	25
Tabela 21 - Níveis de referência para a exposição ocupacional e para o público em geral a CEM variáveis ao longo do tempo (valores rms de campo não perturbado)	27
Tabela 22 – Limites de exposição a campos magnéticos estáticos	29
Tabela 23 – Classificação por grupos quanto à carcinogenicidade do agente	29
Tabela 24 – Classificação dos CEM estáticos, FEB e RF quanto à sua carcinogenicidade	30
Tabela 25 – Classificação das máquinas segundo os níveis de radiação emitida	31
Tabela 26 – Valores médios de emissão de eletrodomésticos correntes a 30 cm de distância	47
Tabela 27 – Valores típicos de campos magnéticos em aparelhos domésticos a várias distâncias	48
Tabela 28 – Efeitos devidos à exposição a campos estáticos.....	52
Tabela 29 – Efeitos indiretos (em crianças, homens e mulheres) causados por correntes limite a 50/60 Hz, 1 kHz e 100 kHz.....	54
Tabela 30 – Efeitos da corrente induzida no corpo à frequência de 50 Hz.....	55
Tabela 31 – Máquinas de soldadura por arco elétrico – MIG/MAG objeto da medição. Principais características técnicas	61
Tabela 32 – Máquinas de soldadura por arco elétrico objeto da medição. Principais parâmetros de trabalho definidos no momento da medição	62
Tabela 33 – Máquinas de soldadura por resistência (pontos, com transformador remoto) objeto da medição. Principais características técnicas.....	62
Tabela 34 – Máquinas de soldadura por resistência Blackhawk/CompuSpot WEL 750, objeto da medição. Principais parâmetros de regulação: 1. Soldadura Monoponto; 2. Soldadura com Pinça em C	63
Tabela 35 – Resultados das medições (B, H e E) efetuadas na máquina – ESAB MIG C280	68
Tabela 36 – Resultados da medição (B, H e E) efetuada na máquina ESAB MIG 5004i ..	69
Tabela 37 – Resultados da medição (B, H e E) efetuada na Máquina de soldar por pontos Blackhawk/CompuSpot WEL 750, com pinça em C.....	71
Tabela 38 – Resultados da medição (B e H) efetuada na Máquina de soldar por pontos Blackhawk/CompuSpot WEL 750, com soldadura monoponto	71

GLOSSÁRIO/SIGLAS/ABREVIATURAS

CA (AC)	Corrente Alternada (<i>Alternating Current</i>)
CC (DC)	Corrente Contínua (<i>Direct Current</i>)
CEM	Campos Eletromagnéticos
CENELEC	<i>Comité Européen de Normalisation Electrotechnique</i>
CM-FEB	Campos Magnéticos de Frequência Extremamente Baixa
EPI	Equipamento de Proteção Individual
HPA (UK)	<i>Health Protection Agency (United Kingdom)</i>
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
ICNIRP	<i>International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection</i>
ICP-ANACOM	Autoridade Nacional de Comunicações
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ILO	<i>International Labour Organization</i>
INRS	<i>Institut National de Recherche et de Sécurité</i>
LE	<i>Lifelong Exposure</i> (Exposição ao Longo da Vida)
LLA	Leucemia Linfóide Aguda
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
NA	Nível de Ação
NIEHS	<i>National Institute of Environmental Health Science</i>
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
NRPB	<i>National Radiological Protection Board of the United Kingdom</i>
OMS (WHO)	Organização Mundial de Saúde (<i>World Health Organization</i>)
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i> (www.osha.gov)
RMS	<i>Root-Mean-Square (rms)</i> (Valores Quadráticos Médios)
RNI	Radiação Não Ionizante
SAR	<i>Specific Energy Absorption Rate</i> (Taxa de Absorção Específica de Energia)

SNC	Sistema Nervoso Central
SNP	Sistema Nervoso Periférico
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
VA	Valores que Desencadeiam a Ação
VLE	Valores Limite de Exposição
UE	União Europeia

1 INTRODUÇÃO

A vida na Terra desenvolve-se num ambiente eletromagnético natural, produzido pela atividade solar, as emissões planetárias, o campo magnético terrestre e os fenómenos meteorológicos próprios da atmosfera terrestre.

Este ambiente eletromagnético caracteriza-se essencialmente por radiações não ionizantes, apesar de incluir alguns tipos de radiações ionizantes como os raios X e gama.

A proliferação de fontes eletromagnéticas não ionizantes ao longo do século XX foi considerável, tendo os CEM (Campos Eletromagnéticos) invadido o nosso ambiente quotidiano. De facto, a iluminação, os eletrodomésticos das habitações, os ecrãs dos computadores nos escritórios, os sistemas de segurança nos aeroportos e estabelecimentos comerciais, as redes de transporte de energia, as estações de radiocomunicações, os equipamentos de soldadura, entre outros, contribuem de forma significativa para que a exposição aos CEM seja permanente.

A eletricidade é uma das principais bases do modo de vida dos países desenvolvidos, sendo hoje uma forma de energia vital, não só para a indústria como também para a vida doméstica. O seu transporte, a sua distribuição e a sua utilização pelos consumidores, geram um ambiente eletromagnético nas habitações e nos locais de trabalho de muito baixa frequência, cujo carácter alternado é fundamentalmente diferente do ambiente natural.

Anteriormente à revolução industrial, as fontes de exposição estavam confinadas aos CEM produzidos pelo nosso próprio meio envolvente. Ao longo do século XX a exposição aos CEM criados pelo homem aumentou, até pelas próprias alterações do comportamento social.

Até meados da década de 60 do século passado, as grandes preocupações relacionadas com linhas de transporte de energia elétrica estavam essencialmente relacionadas com aspetos estéticos, a sua interferência com receção de transmissões de rádio e de televisão, bem como problemas de ruído e de perceção.

Em 1979, com o aparecimento do estudo epidemiológico: “Electrical wiring configurations and childhood cancer” (Wertheimer e Leeper, 1979) no qual é estudado a associação entre a incidência de uma forma de cancro pediátrico (leucemia linfóide aguda, LLA) e a exposição a CEM devido à proximidade das habitações a linhas de distribuição de energia elétrica, estas preocupações alargaram-se a possíveis associações a outras formas de cancro e a exposição a CEM. Estas preocupações, também pelo interesse que o público e os meios de comunicação lhe dedicaram, estimularam a investigação de carácter científico que se lhe seguiu. Desde então, têm sido publicados, um pouco por todo o mundo, resultados de estudos sobre a influência dos CEM na saúde humana.

Em 1996, a OMS (Organização Mundial de Saúde) criou o *International EMF Project* para avaliar a evidência científica de possíveis efeitos na saúde dos CEM na gama de frequências de 0 a 300 GHz.

Em 2002, a IARC (*International Agency for Research on Cancer*) classifica os campos magnéticos de frequência extremamente baixa (ELF: 1Hz – 100 kHz) como **possivelmente cancerígenos para o homem** (Grupo 2B), os campos elétricos e magnéticos estáticos e os

campos elétricos de frequência extremamente baixa como **não classificáveis como cancerígenos para o homem** (Grupo 3). Esta avaliação foi publicada no Volume 80 das monografias da IARC.

Em 2011, a 31 de maio em Lyon, França, a OMS/IARC classificou os campos eletromagnéticos de radiofrequência (RF: 100 kHz – 300 GHz) como **possivelmente cancerígenos para o homem** (Grupo 2B), tendo por base o aumento do risco de glioma, um tipo de cancro cerebral maligno, associado ao uso de telemóveis. Esta avaliação está prevista ser publicada no Volume 102 das monografias da IARC.

De 24 a 31 de maio de 2011, um grupo de 31 cientistas de 14 países estiveram reunidos na IARC em Lyon, França, para avaliar o potencial risco da exposição a campos eletromagnéticos de radiofrequências. Este grupo de trabalho discutiu a possibilidade deste tipo de exposição produzir efeitos de longo prazo, em particular um aumento de risco de cancro. Isto é particularmente importante para a saúde pública, em particular para os utilizadores de telemóveis, dado o grande número de utilizadores adultos, jovens e crianças.

Os processos de soldadura são amplamente utilizados em toda a indústria metalomecânica, automóvel, da construção, entre outros. O elevado número de trabalhadores expostos (soldadores) aos CEM produzidas pelos processos de soldadura e o facto de existirem um número reduzido de estudos relativos à exposição a CEM em processos de soldadura justificam a elaboração do presente trabalho. Por outro lado, na Comunidade Europeia os empregadores são obrigados a avaliar a exposição a CEM nos locais de trabalho e, para além disso, existem requisitos obrigatórios a respeitar, por parte de fabricantes e importadores, para a colocação de equipamentos de soldadura no mercado europeu.

Existem diversos tipos de processos de soldadura, contudo os mais comumente utilizados são a soldadura por arco elétrico: elétrodo revestido, MIG (*Metal Inert Gas*)/MAG (*Metal Active Gas*); TIG (*Tungsten Inert Gas*) e a soldadura por resistência elétrica (soldadura por pontos). Estes dois tipos de soldadura são, provavelmente, os que resultam em exposições mais elevadas a radiações não ionizantes. O presente estudo incidirá sobre estes processos de soldadura, recorrendo para o efeito a equipamentos de soldadura existentes no mercado. Os principais riscos inerentes aos processos de soldadura resultam de:

- Contaminantes químicos libertados durante a operação, para o qual existem diversos estudos e que não serão considerados no âmbito deste trabalho;
- Radiações óticas que, embora não existam muitos estudos nesta matéria, não serão abordados neste trabalho;
- Campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos para os quais não existem muitos estudos relacionados com os processos de soldadura e que serão aqui abordados.

1.1 Âmbito e objetivos do trabalho

Este trabalho pretende avaliar a exposição de trabalhadores a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos em operações de soldadura mais comumente utilizadas nas diversas atividades.

Pretende-se pois, verificar para os processos de soldadura em estudo (MIG e soldadura por pontos), se os CEM produzidos ultrapassam os níveis de exposição definidos na Diretiva 2013/35/EU, e qual a magnitude e frequência da exposição. Serão os CEM produzidos nestes processos de soldadura suscetíveis de provocar efeitos adversos na saúde dos soldadores?

A atualidade do tema, a falta de estudos neste setor industrial, no que diz respeito à exposição a radiações ionizantes e a publicação de legislação recente nesta matéria são os principais fatores que justificam este trabalho.

Os principais objetivos deste trabalho são:

- Fornecer informação sobre o nível de exposição a CEM em processos de soldadura;
- Constituir uma base de reflexão crítica para que os empregadores possam garantir aos trabalhadores que a exposição aos CEM é avaliada, minimizada e está abaixo dos níveis de exposição definidos na Diretiva 2013/35/UE, de 26 de junho.

1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em sete capítulos, descritos a seguir de forma resumida:

No Capítulo 1 é feita a introdução ao trabalho, dando a conhecer o seu âmbito, objetivos gerais e estrutura.

No Capítulo 2 são apresentados o equipamento e os locais em que o trabalho é realizado. São abordados os processos de soldadura, com particular destaque no processo de soldadura por arco elétrico e por resistência, objeto do presente estudo. É também efetuado o enquadramento legal e normativo bem como uma revisão bibliográfica sobre o estado do conhecimento científico atual.

No Capítulo 3 é feita a contextualização dos conceitos teóricos inerentes ao tema. São também apresentados os efeitos biológicos conhecidos da exposição a campos eletromagnéticos.

No Capítulo 4 são apresentados os objetivos da dissertação, descritos os equipamentos de soldadura utilizados para a concretização prática do trabalho bem como o equipamento de medição a que se recorreu para a avaliação da exposição aos campos eletromagnéticos.

No Capítulo 5 apresentam-se os resultados das medições realizadas.

No Capítulo 6 é efetuada a discussão dos resultados apresentados no Capítulo 5.

No Capítulo 7 são feitas as conclusões finais do trabalho e discutidos aspetos a serem explorados em trabalhos futuros.

2 ESTADO DA ARTE / REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Referenciais Tecnológicas e de Contexto

A avaliação da exposição a campos eletromagnéticos em processos de soldadura foi efetuada no contexto real de trabalho de três empresas. Uma do sector da metalomecânica (ligeira) – Facosta – Indústria de Cortantes para o Calçado, Lda, outra também da metalomecânica (pesada) – Cancé – Construções Metálicas, Lda e outra do setor automóvel – Caetano Baviera, SA. A escolha destas empresas foi fundamentada em:

- Elevada representatividade dos processos e parâmetros de soldadura utilizados por estas empresas face à realidade nacional;
- Interesse e disponibilidade demonstrada pela direção destas empresas em participar no estudo.

A Facosta – Indústria de Cortantes para o Calçado, Lda é uma microempresa que emprega 7 trabalhadores (todos do sexo masculino), dos quais 2 são soldadores. Esta empresa localizada na Vila de Cucujães, insere-se numa região com um grande número de empresas da indústria do calçado.

Dedica-se exclusivamente ao fabrico de elementos cortantes para a indústria do calçado. Estes elementos são basicamente moldes que servem para efetuar o corte das diferentes peças que compõe um sapato. A sua produção é maioritariamente para o mercado nacional, tendo iniciado à cerca de 2 anos a comercialização dos seus produtos junto de algumas fábricas de calçado espanholas.

As medições foram efetuadas numa de duas máquinas de soldar MIG que utilizam diariamente – ESAB MIG C280.

A Cancé – Construções Metálicas, Lda é uma empresa de origem francesa (Grupo Cancé) do ramo da metalomecânica.

O Grupo Cancé, foi criado em 1961 por Robert Cancé. Em 1979, depois do falecimento do seu fundador, a direção é assumida pelo filho Christian Cancé, que muito rapidamente dinamiza a empresa e a faz crescer tanto a nível nacional como internacional. Atualmente o grupo tem unidades de produção implantadas em várias cidades de França e também em Portugal.

Em 2012 o Grupo Cancé empregava cerca de 530 trabalhadores, dos quais 370 na Cancé Construções Metálicas, 60 na Cancé Metalúrgica e 100 na Cancé Alumínios.

A principal atividade da Cancé Construções Metálicas consiste no fabrico de edifícios em estrutura metálica para a indústria (fábricas, armazéns), comércio (supermercados, oficinas), serviços (ginásios, edifícios administrativos) e agricultura (edifícios para

cereais). Para além disso, fabrica sob encomenda outro tipo de construções, como são exemplo a arena de Montpellier, o aeroporto de Roissy (Paris) e o estádio do Havre.

A Cancé Metalúrgica e Alumínios complementam a atividade da Cancé Construções Metálicas, garantindo aos clientes uma resposta mais abrangente, fornecendo produtos como escadas metálicas, gradeamentos, corrimões, janelas, entre outros produtos.

Em 2002, este grupo francês decidiu instalar em Portugal uma unidade de produção de estruturas metálicas. Deste modo foi criada a Cancé - Construções Metálicas, Lda, que se localiza no Parque Industrial de Sampaio, na freguesia de Oliveirinha, concelho de Carregal do Sal, distrito de Viseu. Esta unidade de produção fabrica, de acordo com o projeto que recebe da casa mãe, componentes de estruturas metálicas para a conceção de edifícios, pavilhões, armazéns e outros tipos de construções. Toda a produção desta unidade destina-se a exportação. As instalações têm uma área total de 35.000 m², dos quais cerca de 12.640 m² são cobertos. A empresa tem neste momento 70 colaboradores (5 femininos e 65 masculinos), dos quais 31 estão afetos à atividades de soldadura. A média de idades dos trabalhadores da empresa é de 43 anos. Labora de 2.^a a 6.^a em regime de turnos (3 turnos de 8h cada).

As medições foram efetuadas em 3 das mais de 10 máquinas de soldar MIG que utilizam diariamente – ESAB MIG 5004i.

A Caetano Baviera, SA é uma empresa do Grupo Salvador Caetano que se dedica ao comércio e assistência pós-venda de veículos automóveis.

O Grupo Salvador Caetano atua no setor automóvel ao nível do fabrico, comércio e assistência pós-venda. É responsável por mais de 6.500 postos de trabalho, distribuídos por diversos países – Portugal, Angola, Cabo Verde, Espanha, Alemanha e Inglaterra.

Nas suas diversas empresas, nomeadamente do fabrico e reparação de veículos são utilizados diversos processos de soldadura, englobando um elevado número de trabalhadores.

As medições ocorreram nas suas unidades de Vila Nova de Gaia e Porto, tendo-se utilizado para o efeito as duas máquinas de soldar por resistência, com transformador remoto, que dispõe nestas unidades – Blackhawk/CompuSpot WEL 750. Em cada uma destas duas empresas existem 4 soldadores que habitualmente trabalham com estas máquinas.

2.1.1 Soldadura

Soldadura por Arco Elétrico

Existem diferentes processos de soldadura por arco elétrico, utilizando corrente alterna (CA), corrente contínua (CC) e corrente pulsada. Alguns dos processos são manuais e outros mecanizados. O mais comum é o eletrodo revestido (*MMA- manual metal arc*), MIG (*metal inert gas*) ou MAG (*metal active gas*) e TIG (*tungsten inert gas*). Existe

também a soldadura (e corte) por plasma e a soldadura por arco submerso, que habitualmente são mecanizados.

O processo de soldadura por eletrodo revestido, que é o processo de soldadura por arco elétrico mais comum, utiliza habitualmente eletrodos revestidos com comprimento de cerca de 200-400 mm. O arco é estabelecido entre a extremidade do eletrodo e a peça a ser soldada, derretendo o eletrodo dentro da junta. Cada eletrodo leva cerca de 45 a 90 segundos para ser consumido, formando então o cordão de soldadura. Este processo é levado a cabo quer com corrente alterna (CA) quer contínua (CC), com uma tendência nos últimos anos para a corrente contínua (CC). Além disso, estão também a ser cada vez mais utilizadas pequenas máquinas com tecnologia *inverter* (inversor), particularmente em serviços de manutenção e em usos domésticos. A corrente de soldadura depende da dimensão do eletrodo e das características das peças a soldar, fundamentalmente do tipo de material e espessura, e varia normalmente na gama 40-400 A. Neste tipo de equipamento, o comprimento dos cabos varia normalmente entre os 3 m e os 10 m, tendo os mais usuais 3 ou 4 m.

Nos processos de soldadura por MIG/MAG o eletrodo é substituído por uma bobine de arame que é alimentada de forma contínua através da tocha. Os processos de soldadura MIG/MAG são normalmente semiautomáticos, podendo contudo ser robotizados. A soldadura pode processar-se de forma continuada por vários minutos, sendo normalmente limitada pelo tamanho da peça a soldar ou pela necessidade do soldador mudar de posição. O processo MIG/MAG é predominantemente contínuo (CC) contudo, recentemente foi desenvolvido um processo a corrente alterna (CA) mas que não é muito utilizado. Além disso, a corrente de soldadura pode ser pulsada a 10-150 Hz entre um baixo nível de intensidade de corrente (50 A) e um valor elevado de pico (habitualmente 400-600 A).

O processo TIG é utilizado principalmente na soldadura de componentes de precisão em aço inox, ligas de níquel e alumínio. O arco é estabelecido entre um eletrodo de tungsténio não consumível e o componente a ser soldado. Se for necessário efetuar enchimento normalmente é fornecida uma vareta externa que é derretida no banho de fusão. A soldadura TIG é efetuada utilizando corrente contínua (CC) e alterna (30-300Hz) para o alumínio e corrente pulsada (2 Hz – 20 kHz). A corrente de soldadura normalmente varia entre 5 – 500 A.

A soldadura por arco submerso é um processo mecanizado semelhante ao processo MIG/MAG, em que o arco é submerso sob o fluxo de soldadura ao longo da junta, em vez de ser protegido com um gás de proteção. A soldadura por arco submerso é efetuada utilizando corrente contínua (CC) ou alterna (CA) com intensidades até os 1500 A, ou eventualmente superiores.

O processo de soldadura por plasma é semelhante ao TIG, contudo o eletrodo está recuado na tocha e o arco do plasma é apertado por meio de um orifício estrito. O processo por plasma pode ser manual ou mecanizado e utiliza normalmente corrente contínua (CC) ou pulsada. Pode também ser utilizado para cortar se o ar for substituído por um gás inerte.

Os equipamentos de soldadura variam em complexidade entre um simples transformador e um microprocessador que controla uma fonte de alimentação com *inverter*. Ao longo dos últimos anos os principais desenvolvimentos ocorreram na aplicação da tecnologia *inverter* de forma a tornar as fontes de alimentação mais pequenas, leves e com melhor desempenho e eficiência energética. Numa fonte de alimentação com *inverter* a entrada monofásica ou trifásica é primeiro retificada, filtrada (CC) e de seguida comutada para alta frequência através do *inverter* gerando-se elevada voltagem e baixa amperagem (CA). Normalmente, passa de seguida por um transformador onde é convertida em baixa voltagem e elevada amperagem. O secundário é então geralmente retificado e filtrado para dar uma saída em corrente contínua (CC). Por conseguinte, embora a saída seja nominalmente contínua (CC) pode conter uma onda de alta frequência o que produz um campo magnético a esta frequência. As frequências de comutação passaram de alguns kilohertz para cerca de 100 kHz atualmente. Além disso, a soldadura pulsada é cada vez mais aplicada, em particular para a soldadura MIG, para melhorar as características do arco e reduzir as projeções de soldadura. No presente estudo apenas será abordado o processo MIG.

Soldadura por Resistência

A soldadura por resistência é o processo de soldadura mais amplamente utilizado para ligar componentes de chapa metálica nas indústrias de produção em massa. A peça a soldar, constituída por duas ou mais chapas a soldar, face a face, é colocada entre dois eléctrodos de cobre e a corrente passa entre eles. A resistência de aquecimento localizada produz uma zona fundida. Na soldadura por pontos, os eléctrodos são cilíndricos e a soldadura é efetuada num único ponto. Existem outras aplicações da soldadura por resistência, em que a peça passa entre duas rodas que funcionam de eléctrodos e uma corrente contínua ou pulsada produz a soldadura.

Muitas das máquinas de soldar por pontos atualmente produzidas trabalham à frequência da rede com corrente alterna (CA) monofásica. O input de calor para a soldadura é controlado pela corrente de soldadura, que é de muitos milhares de amperes, e pelo tempo de soldadura, geralmente expresso como um número de ciclos.

Cada vez mais têm vindo a ser utilizadas máquinas com corrente de soldadura contínua (CC), o que melhora o fator de potência e equilibra a demanda de energia entre as três fases. Tal como na soldadura por arco eléctrico, estão a ser cada vez mais utilizados inversores (*inverters*) de elevada (média) frequência. As frequências de comutação em torno dos 600 – 1200 Hz são menores do que as utilizadas no caso da soldadura por arco eléctrico.

As máquinas de soldar por resistência CA geralmente trabalham a 50 Hz, contudo estão habitualmente presentes harmónicos da frequência fundamental. No caso das máquinas CC, devido ao tipo de retificação utilizada, geralmente são produzidos harmónicos da frequência da rede (50 Hz) e, para além da exposição a campos estáticos, ocorre também exposição a campos eletromagnéticos variáveis no tempo.

A soldadura por resistência manual pode ser efetuada com o soldador a segurar a tocha com as mãos, podendo esta ser de aperto manual ou pneumático, ou através de uma máquina com os elétrodos fixos (tipo prensa), em que o operador posiciona as peças a soldar entre eles e aciona-os através de um comando (pedal ou botão). Atualmente, alguns fabricantes, com o intuito de reduzir o campo magnético ao longo dos cabos de soldadura, aplicaram o transformador na tocha de soldadura.

A soldadura por resistência utiliza elevadas correntes elétricas, podendo mesmo atingir algumas centenas de quilo amperes. Estas correntes são geradas pela fonte de energia do equipamento de soldadura, fluem através dos cabos de soldadura, da tocha e também da peça a soldar e retornam à fonte de energia. Em qualquer ponto os campos magnéticos são gerados pelo fluxo de corrente, contudo as partes do circuito elétrico mais próximas do soldador são as principais fontes desses campos.

As propriedades do campo em torno do equipamento de soldadura são primariamente definidas pelas propriedades da corrente de soldadura, que é dependente do processo de soldadura e das características da fonte de energia utilizada. Além disso, a tipologia do percurso da corrente, isto é, a geometria e dimensões da tocha e cabos e a sua posição relativamente ao corpo dos soldadores é importante para determinar o nível de exposição. No presente estudo apenas será abordado o processo de soldadura por resistência com o transformador remoto (isto é, integrado na máquina propriamente dita).

2.2 Enquadramento Legal e Normativo

Existem vários guias de orientação internacionalmente aceites relativamente aos níveis de exposição permissíveis a campos eletromagnéticos, como por exemplo os publicados pelo ICNIRP e os do IEEE. Muitas das normas internacionais e da legislação europeia são baseados nas linhas de orientação do ICNIRP (1998), no intervalo de 0 a 300GHz e ICNIRP (1994) para 0 Hz. De referir que o ICNIRP (1998) foi parcialmente atualizado pelo ICNIRP (2010), isto é na faixa de 1 Hz a 100 kHz. O ICNIRP (1994) respeitante aos campos estáticos foi atualizado pelo ICNIRP (2009). Os níveis de exposição normalmente estabelecem dois limites: um para o público em geral e outro para exposições ocupacionais.

A população com exposição ocupacional consiste em adultos que são geralmente expostos sob condições conhecidas e são treinados para estar cientes do potencial risco e tomar as precauções adequadas. Em contraste, o público em geral compreende indivíduos de todas as idades e de diferentes estados de saúde, e podem incluir particularmente grupos ou indivíduos suscetíveis. Em muitos casos, os membros do público não sabem da sua exposição a CEM e como tal, não se espera que tomem precauções para minimizar ou evitar a exposição. São estas considerações que fundamentam a adoção de restrições mais exigentes para a exposição do público em geral do que para a população ocupacional.

Público em geral – toda a população. Inclui pessoas de todas as idades, e com variados estados de saúde, incluindo grupos ou pessoas particularmente vulneráveis como pessoas com saúde debilitada, idosos, trabalhadoras grávidas, bebês e crianças.

Público ocupacional – todas as exposições a CEM de indivíduos em resultado das suas atividades profissionais diárias.

Para a aplicação das restrições baseadas na avaliação dos possíveis efeitos dos CEM sobre a saúde, definiram-se duas classes de limites:

Restrições básicas – são os limites relativos à exposição aos CEM baseados diretamente em efeitos sobre a saúde já estabelecidos e em considerações biológicas.

Níveis de referência – limites estabelecidos para efeitos práticos de avaliação da exposição, a fim de determinar a probabilidade das restrições básicas serem ultrapassadas.

Dependendo da frequência, as grandezas físicas utilizadas para especificar as restrições básicas na exposição a CEM são: a densidade do fluxo magnético (B), a densidade da corrente (J), a taxa de absorção específica de energia (SAR) e a densidade de potência (S). A densidade do fluxo magnético (B) e a densidade de potência (S) podem medir-se facilmente nos indivíduos expostos.

As restrições básicas limitam a ocorrência de processos biológicos intra-corporais causados pelos CEM a níveis abaixo dos valores limite estabelecidos para os efeitos adversos à saúde.

Alguns níveis de referência resultam das restrições básicas pertinentes, utilizando medições e ou técnicas computacionais, e alguns incidem sobre a percepção e os efeitos nocivos indiretos da exposição aos CEM. As grandezas físicas resultantes são a intensidade do campo elétrico (E), a intensidade do campo magnético (H), a densidade do fluxo magnético (B), a densidade de potência (S) e a corrente nos membros (I_L). As grandezas que se referem à percepção e a outros efeitos indiretos são a corrente de contacto (I_C) e, relativamente aos campos constituídos por impulsos, a absorção específica de energia (SA).

Os níveis de referência servem para comparação com os valores medidos das grandezas físicas. A observância do nível de referência garantirá a observância da restrição básica pertinente. O facto de o valor medido ultrapassar o nível de referência não implica necessariamente que a restrição básica será ultrapassada. No entanto, nessas circunstâncias, é necessário determinar se a restrição básica é cumprida. A proteção contra os efeitos adversos sobre a saúde exige que as restrições básicas não sejam ultrapassadas.

As grandezas utilizadas para descrever as restrições básicas não podem ser medidas diretamente. Têm de ser realizados cálculos analíticos ou simulações numéricas tendo por base fontes de campos equivalentes e modelos do corpo humano por forma a se obter a magnitude destas grandezas.

As restrições básicas não podem ser excedidas em nenhuma situação de exposição prática. Se isto não for garantido para uma determinada situação específica, devem ser tomadas medidas para reduzir a exposição para níveis inferiores aos limites.

A observância das restrições básicas (valores limite de exposição) e dos níveis de referência (valores que desencadeiam a ação) recomendados deverá garantir um nível elevado de proteção no que respeita aos efeitos comprovados sobre a saúde suscetíveis de resultar da exposição a CEM, mas essa observância poderá não evitar forçosamente problemas de interferência com dispositivos médicos, tais como próteses metálicas, estimuladores e desfibrilhadores cardíacos e implantes cocleares, ou efeitos sobre o seu funcionamento. Os problemas de interferência com estimuladores cardíacos podem ocorrer a níveis inferiores aos níveis de referência recomendados, pelo que deverão ser objeto de precauções adequadas, as quais são tratadas no âmbito da legislação sobre compatibilidade eletromagnética e sobre os dispositivos médicos.

2.2.1 Legislação Europeia e Nacional

A União Europeia tem duas categorias de atos jurídicos:

- Obrigatórios - Regulamentos, de aplicação imediata e sem necessidade de transposição e as diretivas, que são impostas a todos os estados membros e têm que ser transpostas para direito interno;
- Não vinculativos – Recomendações cuja transposição para a legislação nacional compete a cada estado.

Em 1999, o Conselho Europeu adotou a Recomendação do Conselho n.º 1999/519/CE, de 12 de julho relativa à limitação da exposição da população aos CEM (0 – 300 GHz), tendo por base as linhas de orientação do ICNIRP (1998). Esta recomendação não trata da proteção dos trabalhadores contra a exposição profissional aos CEM. Este documento estabelece um quadro de restrições básicas e níveis de referência que devem ser cumpridos de forma a proteger a população contra comprovados efeitos adversos para a saúde suscetíveis de resultar da exposição a CEM. Recomenda que os estados membros: adotem estas restrições e níveis de referência; apliquem medidas respeitantes a fontes ou práticas que deem origem à exposição CEM da população quando o tempo de exposição for significativo, com exceção da exposição para fins médicos; avaliem os riscos e benefícios da exposição que ultrapasse as restrições básicas; proporcionem à população informações acerca dos efeitos sobre a saúde dos CEM e respetivas medidas de prevenção; promovam e acompanhem a investigação pertinente sobre os CEM e a saúde humana no contexto dos seus programas de investigação nacionais; elaborem relatórios sobre a experiência obtida com as medidas tomadas.

Em 2000, foi publicado o Decreto-Lei n.º 151-A/2000, de 20 de julho, relativo ao regime aplicável ao licenciamento de redes e estações de radiocomunicações. O n.º 1 do artigo 22.º refere que compete ao ICP-ANACOM (*Instituto das Comunicações de Portugal* –

Autoridade Nacional de Comunicações) promover a publicação de níveis de referência para efeitos da avaliação da exposição a CEM ou normas europeias ou nacionais baseadas em procedimentos de medição e cálculo reconhecidos e provados cientificamente, destinados a avaliar a conformidade com as restrições básicas relativas à exposição da população a CEM.

Tendo por base a necessidade de dar cumprimento à Recomendação do Conselho n.º 1999/519/CE, de 12 de julho, e ao Decreto-Lei n.º 151-A/2000, de 20 de julho, foi criado um Grupo de Trabalho Interministerial, por Despacho Conjunto, n.º 8/2002, publicado no Diário da República n.º 5, II Série, de 7 de janeiro de 2002.

A 3 de agosto de 2002 foi publicada a Resolução da Assembleia da República n.º 53/2002, que definiu a necessidade de criar um *Código de conduta e boas práticas para a instalação de equipamentos que criem Campos Eletromagnéticos (CEM)*. Nesta Resolução foram definidas algumas regras, de que se realça a salvaguarda da saúde humana, nomeadamente das crianças, jovens, trabalhadores e funcionários, bem como das pessoas portadoras de *pacemaker*.

Em 2003, foi publicado o Decreto-Lei n.º 11/2003, de 18 de janeiro que regula a autorização municipal inerente à instalação e funcionamento das infraestruturas de suporte das estações de radiocomunicações e respetivos acessórios, definidos no Decreto-Lei n.º 151-A/2000, de 20 de julho, e adota mecanismos para fixação dos níveis de referência relativos à exposição da população a CEM (0-300 GHz). O n.º 1 do artigo 11.º refere que as estações de radiocomunicações devem cumprir, obrigatoriamente, com os níveis de referência para efeitos de avaliação da exposição a CEM, a fixar por Portaria conjunta dos Ministros de Estado e da Defesa Nacional, Adjunto do Primeiro-Ministro, da Economia, da Ciência e do Ensino Superior, da Saúde e das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, a publicar 90 dias após a entrada em vigor deste diploma.

Em 2004, e como resultado do trabalho elaborado pelo grupo interministerial criado pelo Despacho Conjunto n.º 8/2002, foi publicada a Portaria n.º 1421/2004, de 23 de novembro que adota as restrições básicas (Tabela 1) e fixa os níveis de referência (Tabela 2) relativos à exposição da população a CEM (0 Hz a 300 GHz), tendo por base a Recomendação do Conselho n.º 1999/519/CE, de 12 de julho.

Tabela 1 – Restrições básicas para o Público em geral, para a exposição CEM (0 Hz – 300 GHz)

Gama de frequências	Densidade de fluxo magnético, B [mT]	Densidade de corrente, J [mA/m ²] (rms)	SAR média para todo o corpo [W/kg]	SAR localizada (cabeça e tronco) [W/kg]	SAR localizada (membros) [W/kg]	Densidade de potência, S [W/m ²]
0 Hz	40	-	-	-	-	-
> 0 – 1 Hz	-	8	-	-	-	-
1 – 4 Hz	-	8/f	-	-	-	-
4 – 1000 Hz	-	2	-	-	-	-
1 – 100 kHz	-	f/500	-	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	-	f/500	0,08	2	4	-
10 MHz – 10 GHz	-	-	0,08	2	4	-
10 GHz – 300 GHz	-	-	-	-	-	10

(Fonte: Portaria n.º 1421/2004)

Nota: f é a frequência em Hz

Tabela 2 – Níveis de referência para o Público em geral, para a exposição CEM (0 Hz – 300 GHz) (valores eficazes e não perturbados)

Gama de frequências	Intensidade do campo, E [V/m]	Intensidade do campo, H [A/m]	Intensidade do campo, B [μT]	Densidade de potência equivalente de onda plana, S _{eq} [W/m ²]	Corrente de contato máxima, I _C [mA]	Corrente induzida dos membros, I _L [mA]
0-1 Hz	-	3,2x10 ⁴	4x10 ⁴	-	0,5	-
1 – 8 Hz	10.000	3,2x10 ⁴ /f	4x10 ⁴ /f ²	-	0,5	-
8 – 25 Hz	10.000	4.000/f	5.000/f	-	0,5	-
0,025 – 0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	-	0,5	-
0,8 – 2,5 kHz	250/f	5	6,25	-	0,5	-
2,5-3 kHz	250/f	5	6,25	-	0,2f	-
3 – 100 kHz	87	5	6,25	-	0,2f	-
100-150 kHz	87	5	6,25	-	20	-
0,15 – 1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	-	20	-
1 – 10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	0,92/f	-	20	-
10 – 110 MHz	28	0,073	0,092	2	20	45
110-400 MHz	28	0,073	0,092	2	-	-
400 – 2000 MHz	1,375f ^{1/2}	0,0037f ^{1/2}	0,0046f ^{1/2}	f/200	-	-
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10	-	-

(Fonte: Portaria n.º 1421/2004)

Nota: f é a frequência nas unidades indicadas na coluna da gama de frequências

Para as situações em que se verifica uma exposição simultânea a campos de diferentes frequências a Portaria n.º 1421/2004, de 23 de novembro adotou o estabelecido na Recomendação n.º 1999/519/CEE do Conselho, de 12 de julho que coincide com o definido nas linhas de orientação do ICNIRP de 1998 (conforme se apresenta mais à frente neste documento).

Em 2004, foi publicada a Diretiva 2004/40/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de abril, relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição

dos trabalhadores aos riscos devidos a agentes físicos (CEM). De acordo com o artigo 13.º desta Diretiva, os Estados Membros teriam que efetuar a sua transposição até 30 de abril de 2008. Contudo, este prazo foi alterado para 30 de abril de 2012 pela Diretiva 2008/46/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. Este prazo foi novamente adiado para 31 de outubro de 2013, através Diretiva 2012/11/EU do Parlamento Europeu e do Conselho. Este adiamento ocorreu porque as partes interessadas, em particular a comunidade médica, colocaram sérias reservas em relação ao impacto que a aplicação da Diretiva 2004/40/CE poderia ter nos atos médicos baseados na imagiologia médica e em relação ao impacto da mesma em determinadas atividades industriais.

A 26 de junho de 2013, foi aprovada a Diretiva 2013/35/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, que revogou a Diretiva 2004/40/CE. Esta nova Diretiva entrou em vigor no dia 29 de junho de 2013, data da sua publicação no Jornal Oficial da União Europeia, devendo os Estados-Membros efetuarem a transposição para direito interno até 1 de julho de 2016.

A Diretiva 2013/35/UE é a 20.ª diretiva especial na aceção do n.º 1 do artigo 16.º da Diretiva 89/391/CEE. Introduce medidas que protegem os trabalhadores dos riscos associados aos CEM (0-300 GHz), dados os seus efeitos sobre a saúde e segurança dos trabalhadores. Esta Diretiva pretende abordar todos os efeitos biofísicos diretos (térmicos, não térmicos e correntes nos membros) e todos os efeitos indiretos conhecidos provocados pela exposição a CEM (interferência em equipamento, risco de projeção de objetos ferromagnéticos em campos magnéticos estáticos, arranque de aparelhos eletroexplosivos como os detonadores, incêndio e explosões, correntes de contacto). Não são, contudo, tratados nesta diretiva os riscos resultantes do contato com condutores em carga nem os efeitos a longo prazo, incluindo possíveis efeitos carcinogénicos devidos à exposição a CEM variáveis no tempo, para os quais não há provas científicas conclusivas que permitam estabelecer uma relação causal. Esta diretiva baseia-se nas orientações do ICNIRP (1998 e 2010), relativas à exposição ocupacional, para campos eletromagnéticos variáveis no tempo e do ICNIRP (2009), relativas a campos estáticos. Aqui, as restrições básicas do ICNIRP designam-se por valores-limite de exposição (VLE) e os níveis de referência por níveis de ação (NA), valores que desencadeiam a ação (VDA) na Diretiva 2004/40/CE.

Esta nova Diretiva introduce o conceito de VLE aplicáveis aos efeitos na saúde e VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais. Para além disso, é introduzida a terminologia NA baixos e NA altos.

Valores-limite de Exposição (VLE) – valores estabelecidos com base em considerações de ordem biofísica e biológica, nomeadamente com base em efeitos diretos agudos de curto prazo cientificamente comprovados, ou seja, efeitos térmicos e estimulação elétrica de tecidos.

VLE aplicáveis aos efeitos na saúde – valores-limite de exposição acima dos quais os trabalhadores podem ficar sujeitos a efeitos nocivos para a saúde, como aquecimento térmico ou estimulação do tecido nervoso e muscular.

VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais – valores-limite de exposição acima dos quais os trabalhadores podem ser objeto de perturbações transitórias das perceções sensoriais e de pequenas alterações das funções cerebrais.

Níveis de ação (NA) – níveis operacionais estabelecidos para simplificar o processo de demonstração do cumprimento dos VLE relevantes ou, se adequado, para tomar medidas de proteção ou prevenção relevantes especificadas na Diretiva 2013/35/UE.

A terminologia NA utilizada na Diretiva 2013/35/UE é a seguinte:

- **NA baixos e NA altos** relativamente aos **campos elétricos** – são os níveis referentes às medidas especiais de proteção ou prevenção especificadas na Diretiva;
- **NA baixos** relativamente aos **campos magnéticos** - são os níveis referentes aos VLE aplicáveis aos **efeitos sensoriais**;
- **NA altos** relativamente aos **campos magnéticos** - são os níveis referentes aos VLE aplicáveis aos **efeitos na saúde**.

De acordo com a Diretiva 2013/35/UE, se se demonstrar que os NA relevantes definidos nos anexos II e III não são ultrapassados considera-se que o empregador respeita os VLE aplicáveis aos efeitos na saúde e os VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais. Os trabalhadores não podem ser expostos a níveis superiores aos dos VLE aplicáveis aos efeitos na saúde nem aos dos VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais, salvo nas situações de exceção consideradas no artigo 10.º da Diretiva.

Os VLE e NA são apresentados no Anexo II - **Efeitos não térmicos (0 Hz – 10 MHz)** (Tabela 3 a Tabela 9) e no Anexo III – **Efeitos térmicos (100 kHz – 300 GHz)** da Diretiva 2013/35/UE (Tabela 10 a Tabela 14).

EFEITOS NÃO TÉRMICOS

Tabela 3 – VLE para densidades do fluxo magnético externo (B_0) entre 0 Hz e 1 Hz (campo magnético estático)

	VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais
Condições normais de trabalho	2 T
Exposição localizada dos membros	8 T
	VLE aplicáveis aos efeitos na saúde
Condições de trabalho controladas	8T

(Fonte: Diretiva n.º 2013/35/UE)

Tabela 4 – VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para intensidades do campo elétrico interno entre 1 Hz e 10 MHz

Gama de frequências	VLE aplicáveis aos efeitos na saúde
$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$1,1 \text{ V.m}^{-1}$ (pico)
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$3,8 \times 10^{-4} f \text{ V.m}^{-1}$ (pico)

(Fonte: Diretiva n.º 2013/35/UE)

Nota: f é a frequência em Hz

Tabela 5 – VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais para intensidades do campo elétrico interno entre 1 Hz e 400 Hz

Gama de frequências	VLE aplicáveis aos efeitos na saúde
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7/f \text{ V.m}^{-1}$ (pico)
$10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$0,07 \text{ V.m}^{-1}$ (pico)
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,0028.f \text{ V.m}^{-1}$ (pico)

(Fonte: Diretiva n.º 2013/35/UE)

Nota: f é a frequência em Hz

Tabela 6 – NA para exposições a campos elétricos de 1 Hz a 10 MHz

Gama de frequências	Intensidade do campo elétrico NA baixo (E) [V.m^{-1}] (rms)	Intensidade do campo elétrico NA alto (E) [V.m^{-1}] (rms)
$1 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \text{ Hz} \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$1,0 \times 10^6/f$
$1,64 \text{ kHz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

(Fonte: Diretiva n.º 2013/35/UE)

Nota: f é a frequência em Hz

Tabela 7 – NA para exposições a campos magnéticos de 1 Hz e 10 MHz

Gama de frequências	Densidade do fluxo magnético NA(B) baixo [μT] (rms)	Densidade do fluxo magnético NA(B) alto [μT] (rms)	Densidade do fluxo magnético NA para a exposição dos membros a um campo magnético localizado [μT] (rms)
$1 \text{ Hz} \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5/f^2$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$8 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$25 \text{ Hz} \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

(Fonte: Diretiva n.º 2013/35/UE)

Nota: f é a frequência em Hz

Tabela 8 – NA para corrente de contacto, I_C

Gama de frequências	NA (I_C) corrente de contacto em estado estacionário [mA] (rms)
Até 2,5 kHz	1,0
$2,5 \text{ kHz} \leq f < 100 \text{ kHz}$	$0,4.f$
$100 \text{ kHz} \leq f \leq 10.000 \text{ Hz}$	40

(Fonte: Diretiva n.º 2013/35/UE)

Nota: f é a frequência em kHz

Tabela 9 – NA para densidades do fluxo magnético de campos magnéticos estáticos

Perigos	NA (B_0)
Interferência em implantes médicos ativos, por exemplo, estimuladores cardíacos	0,5 mT
Risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)	3 mT

(Fonte: Diretiva n.º 2013/35/UE)

EFEITOS TÉRMICOS

Tabela 10 – VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para uma exposição a campos eletromagnéticos de 100 kHz a 6 GHz

VLE aplicáveis aos efeitos na saúde	Valores médios de SAR medidos a intervalos de seis minutos
VLE relativo ao stress causado pelo calor no corpo todo, expresso como SAR média no corpo	$0,4 \text{ W.kg}^{-1}$
VLE relativo ao stress causado pelo calor localizado na cabeça e no tronco, expresso como SAR localizada no corpo	10 W.kg^{-1}
VLE relativo ao stress causado pelo calor localizado nos membros, expresso como SAR localizada nos membros	20 W.kg^{-1}

(Fonte: Diretiva n.º 2013/35/UE)

Tabela 11 – VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais para exposição a campos eletromagnéticos 0,3 GHz a 6 GHz

Gama de frequências	Absorção específica de energia (SA) localizada
$0,3 \text{ GHz} \leq f \leq 6 \text{ GHz}$	10 mJ.kg^{-1}

(Fonte: Diretiva n.º 2013/35/UE)

Tabela 12 – VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para exposição a campos eletromagnéticos 6 GHz a 300 GHz

Gama de frequências	VLE aplicáveis aos efeitos na saúde relacionados com a densidade de potência
$6 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	50 W.m^{-2}

(Fonte: Diretiva n.º 2013/35/UE)

Tabela 13 – NA para exposições a campos elétricos e magnéticos de 100 kHz a 300 GHz

Gama de frequências	Intensidade do campo elétrico NA (E) [V.m ⁻¹] (rms)	Densidade do fluxo magnético NA(B) [μT] (rms)	Densidade de potência, NA(S) [W.m ⁻²]
100 kHz ≤ f < 1 MHz	6,1 x 10 ⁻²	2,0 x 10 ⁶ /f	-
1 MHz ≤ f < 10 MHz	6,1 x 10 ⁸ /f	2,0 x 10 ⁶ /f	-
10 MHz ≤ f < 400 MHz	61	0,2	-
400 MHz ≤ f < 2 GHz	3,0 x 10 ⁻³ .f ^{1/2}	1,0 x 10 ⁻⁵ .f ^{1/2}	-
2 GHz ≤ f ≤ 6 GHz	1,4 x 10 ⁻²	4,5 x 10 ⁻¹	-
6 GHz ≤ f ≤ 300 GHz	1,4 x 10 ⁻²	4,5 x 10 ⁻¹	50

(Fonte: Diretiva n.º 2013/35/UE)

Nota: f é a frequência em Hz

Tabela 14 – NA para correntes de contacto em estado estacionário e para correntes induzidas nos membros

Gama de frequências	Correntes de contacto em estado estacionário, NA(I _C) [mA] (rms)	Corrente induzida em qualquer membro, NA(I _L) [mA] (rms)
100 kHz ≤ f < 10 MHz	40	-
10 MHz ≤ f ≤ 110 MHz	40	100

(Fonte: Diretiva n.º 2013/35/UE)

De referir que comparativamente à Diretiva 2004/40/CE, esta nova Diretiva, para além de introduzir novos conceitos e novos VLE e VA, manteve também alguns VLE e VA e alterou outros, em geral tornando-os menos restritivos.

De acordo com a Diretiva 2013/35/UE, a entidade patronal deve avaliar e, se for caso disso, medir e/ou calcular os níveis dos campos eletromagnéticos a que os trabalhadores se encontram expostos. Quando sejam ultrapassados os níveis de ação (NA) a entidade patronal deve avaliar e, se necessário, calcular se foram ultrapassados os VLE. A avaliação dos riscos deve ser regularmente atualizada, especialmente no caso de alterações significativas suscetíveis de a desatualizar, ou quando os resultados da vigilância da saúde demonstrarem que tal é necessário.

Com base na avaliação dos riscos, logo que sejam ultrapassados os valores que desencadeiam a ação, e a menos que a avaliação efetuada prove que os VLE não foram ultrapassados e que podem ser excluídos os riscos de segurança, a entidade patronal deve elaborar e pôr em prática um programa de ação com medidas técnicas e/ou organizacionais destinadas a evitar que a exposição ultrapasse os VLE, tendo em conta:

- Outros métodos de trabalho que permitam reduzir a exposição a CEM;
- A escolha de equipamento que crie menos CEM, atendendo ao trabalho a executar;
- Medidas técnicas destinadas a reduzir as emissões dos CEM, incluindo, se necessário, a utilização de encravamentos, blindagens ou mecanismos semelhantes de proteção da saúde;

- Programas adequados de manutenção para o equipamento de trabalho, o local de trabalho e os postos de trabalho;
- Conceção e disposição dos locais e postos de trabalho;
- Limitação da duração e da intensidade da exposição;
- Disponibilidade de equipamentos de proteção individual (EPI's).

Com base na avaliação de riscos, os locais de trabalho onde os trabalhadores possam encontrar-se expostos a CEM que ultrapassem os valores que desencadeiam a ação devem ser sinalizados por meios adequados, a menos que a avaliação efetuada prove que os valores-limite de exposição não foram excedidos e que podem ser excluídos os riscos de segurança. Os locais em causa devem também ser delimitados e de acesso restrito, sempre que isso seja tecnicamente possível e exista um risco de os VLE serem ultrapassados.

Os trabalhadores não podem em qualquer caso ser sujeitos a exposições acima do valor-limite de exposição.

2.2.2 ICNIRP

O ICNIRP (*International Commission on Non-ionizing Radiation Protection*) é uma Comissão Internacional constituída por um corpo de especialistas independentes de diversas áreas, medicina, dermatologia, oftalmologia, epidemiologia, biologia, física, dosimetria, eletricidade, de vários países, cujo objetivo é produzir e difundir informação sobre os efeitos da exposição a RNI. Em 1974 o IRPA (*International Radiation Protection Association*) formou um grupo de trabalho com o objetivo de estudar os problemas colocados à proteção face às radiações não ionizantes. Em 1977 este grupo de trabalho tornou-se no INIRC (*International Non-Ionizing Radiation Committee*), tendo em 1992 dado lugar ao ICNIRP.

Tendo em conta a revisão científica de várias publicações relevantes sobre este assunto o ICNIRP publicou em 1998 as Linhas de Orientação para os Limites de Exposição a Campos Elétricos e Magnéticos Variáveis ao Longo do Tempo (0-300 GHz). O principal objetivo desta publicação foi estabelecer linhas de orientação para limitar a exposição ocupacional e do público em geral a CEM, de forma a proporcionar proteção contra conhecidos efeitos adversos à saúde. Um efeito adverso à saúde causa prejuízo detetável na saúde do indivíduo exposto ou dos seus descendentes. Um efeito biológico, por outro lado, pode ou não resultar num efeito adverso à saúde.

Não existe informação suficiente sobre os efeitos biológicos e na saúde da exposição aos CEM da população humana e animais que permita definir com rigor fatores de segurança em toda a faixa de frequência. Deste modo, o ICNIRP (1998) considerou as seguintes variáveis para desenvolver os fatores de segurança para os campos de altas frequências:

- Efeitos da exposição a CEM sob condições ambientais severas (elevadas temperaturas, etc) e/ou níveis de atividade elevados;

- Sensibilidade térmica potencialmente mais elevada em certos grupos da população, idosos, crianças, bebês, pessoas com doenças ou que estão sob medicação passível de comprometer a tolerância térmica.

Na definição dos níveis de referência para as altas frequências, foram tidos em conta os seguintes fatores adicionais:

- Diferenças na absorção de energia eletromagnética por indivíduos de diferentes tamanhos e orientações relativas ao campo;
- Reflexão, focalização e espalhamento do campo incidente, o que pode resultar numa maior absorção localizada de energia de alta frequência.

O principal objetivo dos limites estabelecidos nos guias do ICNIRP é proteger dos efeitos adversos conhecidos para a saúde, tanto os efeitos diretos como os indiretos da exposição a CEM. Tais limites baseiam-se nos efeitos a curto prazo, efeitos imediatos sobre a saúde tais como a estimulação dos músculos e nervos periféricos, aquecimento dos tecidos provocado pela absorção de energia devido à exposição a campos eletromagnéticos tais como descargas e queimaduras provocadas pelo contato com objetos condutores.

Na avaliação dos possíveis efeitos da radiação eletromagnética sobre a saúde, os guias contemplam dois tipos de restrições:

- As restrições à exposição a campos eletromagnéticos variáveis no tempo, baseadas diretamente nos efeitos conhecidos sobre a saúde;
- As restrições baseadas em considerações biológicas que recebem o nome de *restrições básicas*.

De referir que foram utilizadas diferentes bases científicas para o desenvolvimento das restrições básicas das várias gamas de frequências (Tabela 15).

Tabela 15 – Grandezas físicas (dosimétricas/exposimétricas) para especificar as restrições básicas relativas aos CEM nas diversas gamas de frequência

Gama de frequências (f)	Grandezas físicas	Efeitos a prevenir
0 – 1 Hz	Densidade do fluxo magnético (B) – para campos estáticos (0 Hz) Densidade de corrente (J) – para campos variáveis no tempo	Efeitos sobre o aparelho cardiovascular e o sistema nervoso central
1 Hz – 10 MHz	Densidade de corrente (J)	Funções do sistema nervoso
100 kHz – 10 MHz	Densidade de corrente (J) SAR	Stress térmico em todo o corpo e um aquecimento localizado excessivo dos tecidos
10 MHz – 10 GHz	SAR	
10 GHz – 300 GHz	Densidade de Potência (S)	Aquecimento excessivo dos tecidos à superfície do corpo ou próximo dela

(Fonte: D.L. 1421/2004; ICNIRP 1998)

O ICNIRP utiliza um fator de redução de 10 para limites ocupacionais e cerca de 50 para os limites de exposição do público em geral.

A Tabela 16 apresenta as restrições básicas para o público em geral e ocupacionais para os CEM (0-300 GHz) publicadas pelo ICNIRP (1998).

Tabela 16 - Restrições básicas para a exposição de seres humanos a campos magnéticos e elétricos variáveis ao longo do tempo até 300 GHz

Características da exposição	Gama de frequências (f)	Densidade de corrente para cabeça e tronco, J [mA/m ²] (rms)	SAR média para todo o corpo [W/kg]	SAR localizada (cabeça e tronco) [W/kg]	SAR localizada (membros) [W/kg]	Densidade de potência, S [W/m ²]
Ocupacional	Até 1Hz	40	-	-	-	-
	1-4 Hz	40/f	-	-	-	-
	4 Hz-1 kHz	10	-	-	-	-
	1-100 kHz	f/100	-	-	-	-
	100 kHz-10 MHz	f/100	0,4	10	20	-
	10 MHz-10 GHz	-	0,4	10	20	-
	10 GHz-300 GHz	-	-	-	-	50
Público em geral	Até 1Hz	8	-	-	-	-
	1-4 Hz	8/f	-	-	-	-
	4 Hz-1 kHz	2	-	-	-	-
	1-100 kHz	f/500	-	-	-	-
	100 kHz-10 MHz	f/500	0,08	2	4	-
	10 MHz-10 GHz	-	0,08	2	4	-
	10 GHz-300 GHz	-	-	-	-	10

(Fonte: ICNIRP 1998)

Nota: f é a frequência em Hz

A Figura 1 apresenta as restrições básicas na exposição ocupacional para a densidade de corrente induzida (rms).

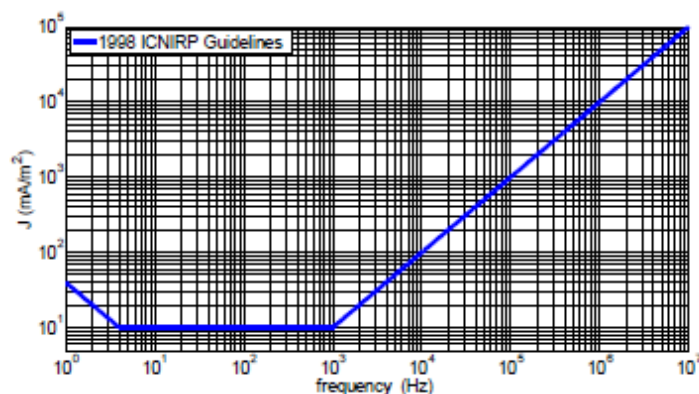


Figura 1 – Restrições básicas para a densidade de corrente induzida em exposição ocupacional.

(Fonte: Grassi et al., 2012)

Os níveis de referência são obtidos a partir das restrições básicas através de modelos matemáticos e por extrapolação de resultados de investigações laboratoriais a frequências específicas. Os níveis de referência são dados para as condições de máximo acoplamento do campo com o indivíduo exposto, proporcionando assim a máxima proteção. A Tabela 17 apresenta os níveis de referência para exposições ocupacionais e do público em geral.

Tabela 17– Níveis de referência para a exposição de seres humanos a campos magnéticos e elétricos variáveis ao longo do tempo até 300 GHz

Características da exposição	Gama de frequências (f)	Intensidade do campo, E [V/m]	Intensidade do campo, H [A/m]	Intensidade do campo, B [μ T]	Densidade de potência equivalente de onda plana, S_{eq} [W/m ²]
Ocupacional	Até 1Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
	1-8 Hz	20.000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-
	8 Hz-25 Hz	20.000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	-
	0,025–0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	-
	0,82-65 kHz	610	24,4	30,7	-
	0,065-1 MHz	610	1,6/f	2/f	-
	1-10 MHz	610/f	1,6/f	2/f	-
	10-400 MHz	61	0,16	0,2	10
	400-2000MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$
	2-300 GHz	137	0,36	0,45	50
Público em geral	Até 1Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
	1-8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4 / f$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
	8 Hz-25 Hz	10.000	$4.000 / f$	$5.000 / f$	-
	0,025–0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	-
	0,8 -3 kHz	250/f	5	6,25	-
	3-150 kHz	87	5	6,25	-
	0,15-1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
	1-10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
	10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
	400-2000MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$0,0046f^{1/2}$	$f/200$
	2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

(Fonte: ICNIRP 1998)

Nota: f é a frequência nas unidades indicadas na coluna da gama de frequências

As Figura 2 e Figura 3 apresentam os níveis de referência para exposições ocupacionais e do público em geral para os campos elétrico e magnético.

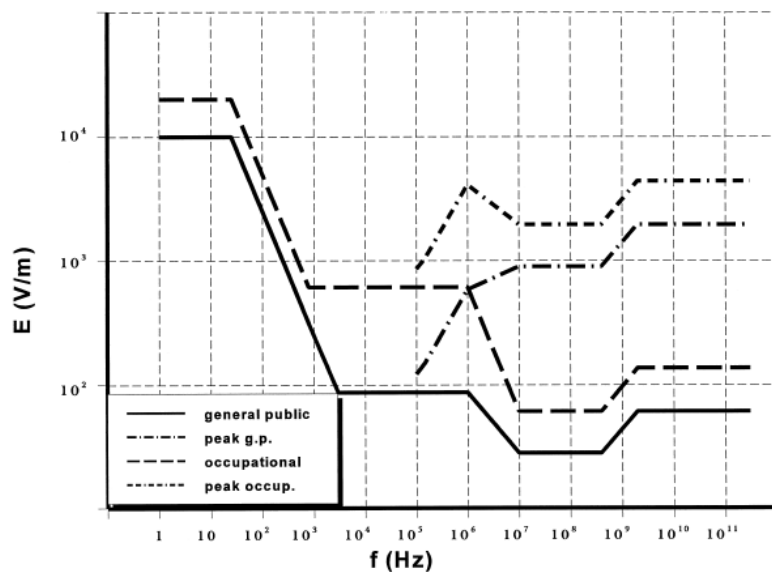


Figura 2– Níveis de referência para exposições ocupacionais e do público em geral a campos elétricos variáveis no tempo.

(Fonte: ICNIRP 1998)

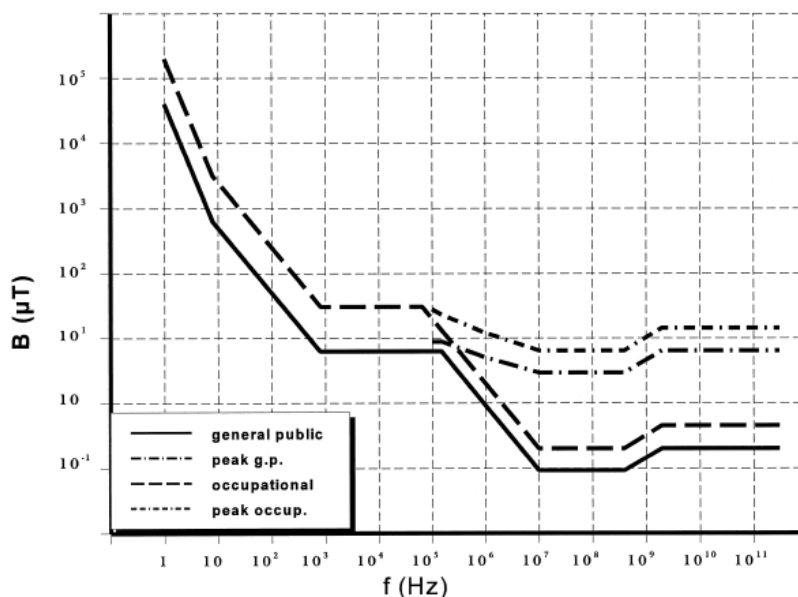


Figura 3 – Níveis de referência para exposições ocupacionais e do público em geral a campos magnéticos variáveis no tempo.

(Fonte: ICNIRP, 1998)

Para frequências até 110 MHz, o que inclui as bandas de frequência de transmissão de rádio FM, recomendam-se níveis de referência adicionais para evitar os perigos devidos às correntes de contacto (choque e queimaduras). As correntes de contacto limiar, que provocam respostas biológicas em crianças e mulheres adultas são aproximadamente metade e dois terços, respetivamente, das relativas a homens adultos, pelo que os níveis de referência para o público em geral foram definidos em metade do valor definido para a exposição ocupacional. Deveremos notar que os níveis de referência não se destinam a

evitar a percepção mas sim a evitar choques elétricos dolorosos. A percepção da corrente de contacto não é por si só perigosa mas pode ser considerada um incómodo. É possível efetuar a prevenção de correntes de contacto excessivas através de meios técnicos.

A Tabela 18 apresenta os níveis de referência para correntes variáveis no tempo, provocadas por contacto com objetos condutores.

A Tabela 19 apresenta os níveis de referência para correntes induzidas em qualquer membro nas frequências entre 10 e 110 MHz.

Tabela 18 – Níveis de referência para correntes de contacto variáveis no tempo em objetos condutores

Caraterísticas da exposição	Gama de frequências (f)	Corrente máxima de contacto, I_c [mA]
Ocupacional	Até 2,5 kHz	1,0
	2,5-100 kHz	0,4f
	100 kHz-110MHz	40
Público em geral	Até 2,5 kHz	0,5
	2,5-100 kHz	0,2f
	100 kHz-110MHz	20

(Fonte: ICNIRP 1998)

Nota: f é a frequência nas unidades indicadas na coluna da gama de frequências

Tabela 19 – Níveis de referência para corrente induzida em qualquer membro nas frequências 10 – 110 MHz

Caraterísticas da exposição	Corrente induzida nos membros [mA]
Ocupacional	100
Público em geral	45

(Fonte: ICNIRP 1998)

Nas situações em que se verifica uma exposição simultânea a campos de diferentes frequências, deve ter-se em conta a possibilidade de haver um somatório dos efeitos destas exposições. Com base nesta conjugação de efeitos, devem realizar-se cálculos separados para cada efeito. Deste modo, devem fazer-se avaliações separadas para os efeitos de estimulação térmica e elétrica sobre o corpo, de acordo com o previsto nas linhas de orientação para os limites de exposição a campos elétricos e magnéticos variáveis ao longo do tempo - ICNIRP (1998), com as atualizações introduzidas pelo ICNIRP (2010).

A secção sobre baixas frequências (1 Hz a 100 kHz) incluída nas linhas de orientação de 1998 (ICNIRP 1998) foi atualizada em 2010 pelo ICNIRP 2010. As principais alterações incluem modificações nos níveis de referência e a substituição da corrente induzida, enquanto quantidade dosimétrica significativa, pelo campo elétrico interno. Por outro lado, esta alteração está em linha com a norma C95.6 do IEEE emitida em 2002.

Nestas linhas de orientação (ICNIRP 2010), a grandeza física utilizada para especificar a restrição básica à exposição a CEM é a intensidade do campo elétrico interno E_i , uma vez que é o campo elétrico que afeta as células nervosas e outras células eletricamente sensíveis.

A intensidade do campo elétrico interno é difícil de avaliar. Portanto, para o efeito prático de avaliação da exposição, são fornecidos níveis de referência de exposição.

As restrições básicas são apresentadas na Tabela 20 e na Figura 4.

Tabela 20 - Restrições básicas para exposição de seres humanos a CEM variáveis ao longo do tempo

<i>Características da exposição</i>	<i>Gama de frequências</i>	<i>Campo elétrico interno [V.m⁻¹]</i>
Exposição ocupacional <i>Tecido do SNC da cabeça</i>	1-10 Hz	0,5f
	10-25 Hz	0,05
	25-400 Hz	$2 \times 10^{-3} f$
	400 Hz-3 kHz	0,8
	3 kHz-10 MHz	$2,7 \times 10^{-4} f$
<i>Todos os tecidos da cabeça e do corpo</i>	1 Hz-3 kHz	0,8
	3 kHz-10 MHz	$2,7 \times 10^{-4} f$
Exposição do público em geral <i>Tecido do SNC da cabeça</i>	1-10 Hz	0,1f
	10-25 Hz	0,01
	25-1000 Hz	$4 \times 10^{-4} f$
	1000 Hz-3 kHz	0,4
	3 kHz-10 MHz	$1,35 \times 10^{-4} f$
<i>Todos os tecidos da cabeça e do corpo</i>	1 Hz-3 kHz	0,4
	3 kHz-10 MHz	$1,35 \times 10^{-4} f$

(Fonte: ICNIRP 2010)

Notas:

- f – frequência [Hz]

- Todos os valores são rms

- Na gama de frequências acima de 100 kHz, as restrições básicas específicas de RF têm de ser tidas em conta adicionalmente

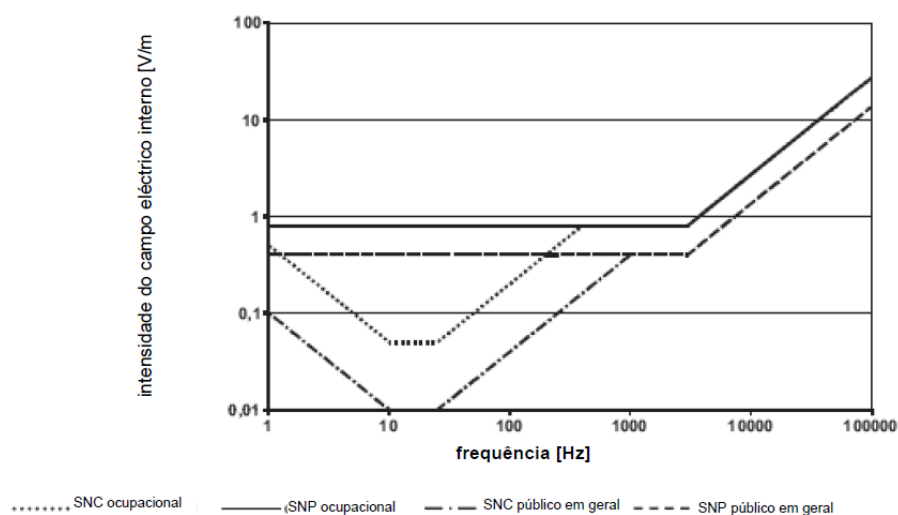


Figura 4 – Restrições básicas para o público em geral e para a exposição ocupacional em termos de intensidade do campo elétrico interno relativamente aos efeitos sobre o sistema nervoso central (SNC) e o sistema nervoso periférico (SNP).

(Fonte: ICNIRP 2010)

Relativamente às restrições básicas, os valores apresentados pelo ICNIRP 2010 não podem ser diretamente comparados com os de 1998, uma vez que assentam em quantidades dosimétricas diferentes. Isto é, as restrições básicas de acordo com o ICNIRP 1998 são expressas em termos da máxima densidade de corrente (J) induzida nos tecidos do sistema nervoso central da cabeça e do tronco, conforme ilustra a Figura 1. Por outro lado, o ICNIRP 2010 apresenta as restrições básicas em termos de intensidade do campo elétrico interno (E_i), induzido no sistema nervoso central (SNC) da cabeça (linha vermelha na Figura 5) e noutros tecidos da cabeça e do corpo (linha verde na Figura 5).

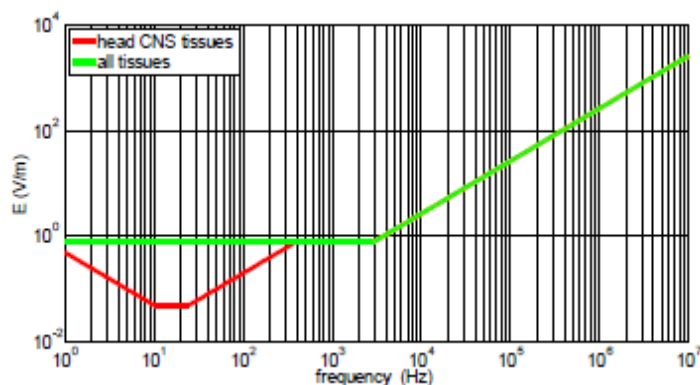


Figura 5 – Restrições básicas para a intensidade do campo elétrico interno (rms) em exposição ocupacional.

(Fonte: Grassi et al., 2012)

Embora estes campos se relacionem pela Eq. 1, a falta de homogeneidade dos tecidos do corpo humano, o que implica diferentes condutividades dependendo dos órgãos, não permite qualquer tentativa de comparação.

$$J = \sigma \times E_i \quad \text{Eq. 1}$$

em que,

σ - condutividade elétrica

A Tabela 21 resume os níveis de referência para a exposição ocupacional e para o grande público, respetivamente, e os níveis de referências são ilustrados nas Figura 6 e Figura 7. Os níveis de referência assumem uma exposição por um campo uniforme (homogéneo) relativamente à extensão espacial do corpo humano.

Tabela 21 - Níveis de referência para a exposição ocupacional e para o público em geral a CEM variáveis ao longo do tempo (valores rms de campo não perturbado)

Gama de frequências	Intensidade do Campo elétrico, E [kV.m ⁻¹]	Intensidade do Campo magnético, H [A.m ⁻¹]	Densidade do fluxo magnético, B [T]
Exposição ocupacional			
1-8 Hz	20	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$0,2 / f^2$
8-25 Hz	20	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^{-2} / f$
25-300 Hz	$5 \times 10^2 / f$	8×10^2	1×10^{-3}
300 Hz-3 kHz	$5 \times 10^2 / f$	$2,4 \times 10^5 / f$	$0,3 / f$
3kHz-10 MHz	$1,7 \times 10^{-1}$	80	1×10^{-4}
Exposição Público em geral			
1-8 Hz	5	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8-25 Hz	5	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^{-3} / f$
25-50 Hz	5	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
50-400 Hz	$2,5 \times 10^2 / f$	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
400 Hz-3 kHz	$2,5 \times 10^2 / f$	$6,4 \times 10^4 / f$	$8 \times 10^{-2} / f$
3kHz-10 MHz	$8,3 \times 10^{-2}$	21	$2,7 \times 10^{-5}$

Fonte: ICNIRP (2010)

Notas: f – frequência [Hz]

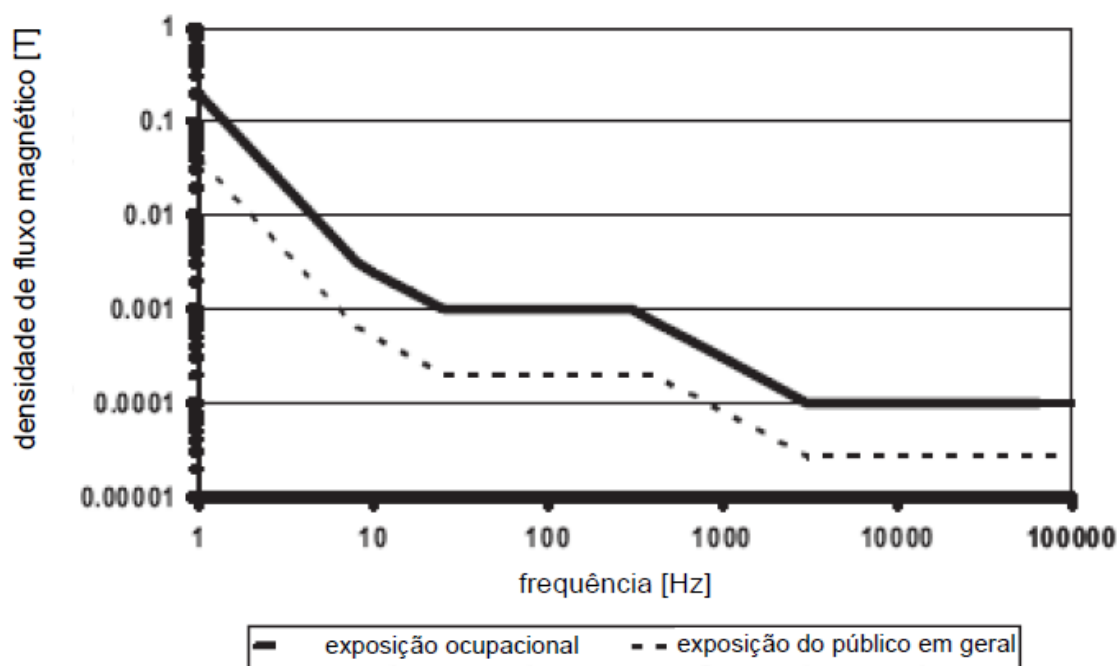


Figura 6 – Níveis de referência para a exposição a campos magnéticos variáveis ao longo do tempo. (Fonte: ICNIRP 2010)

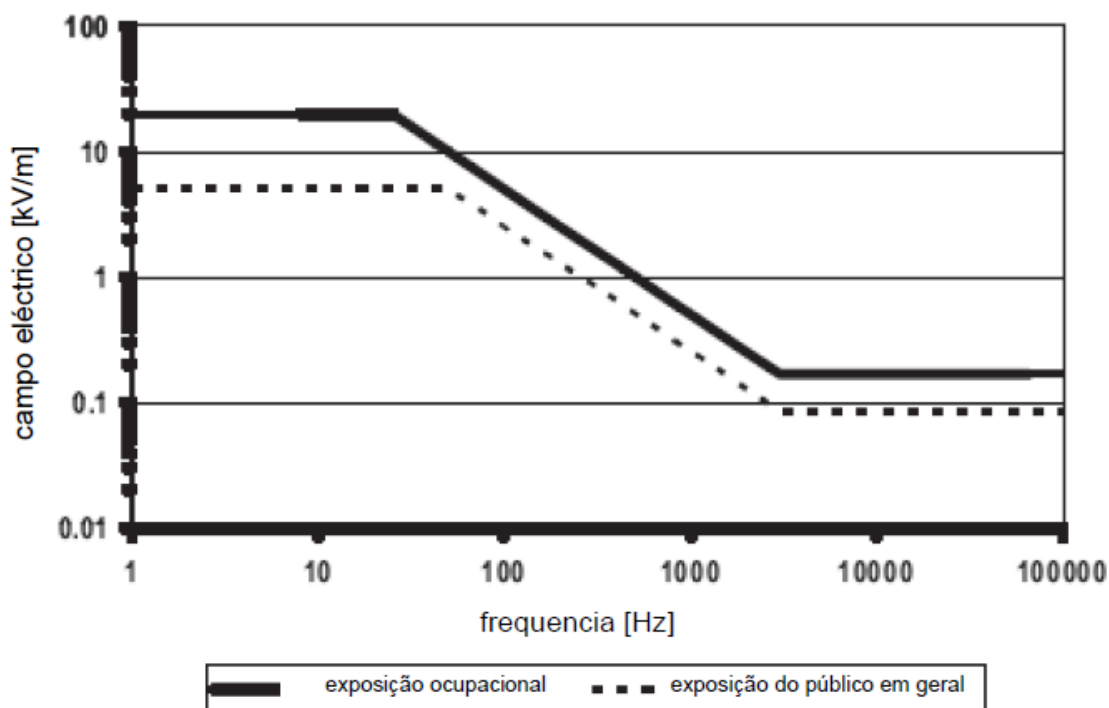


Figura 7 – Níveis de referência para a exposição a campos eléctricos variáveis ao longo do tempo.
(Fonte: ICNIRP 2010)

A Figura 8 compara os níveis de referência para a exposição ocupacional do ICNIRP 1998 e 2010.

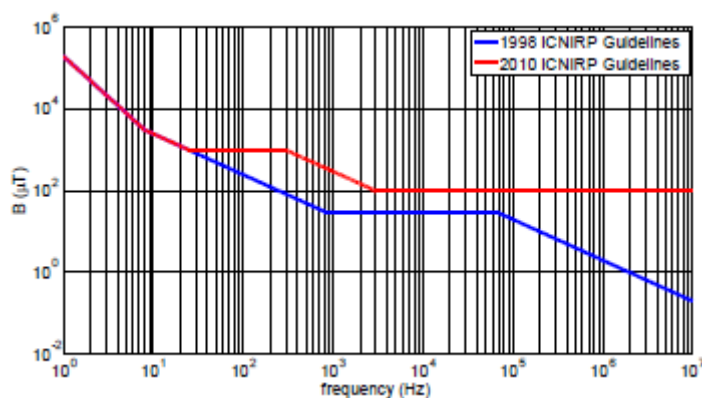


Figura 8 – Níveis de referência para a densidade de fluxo magnético em exposição ocupacional, de acordo com o ICNIRP 1998 (a azul) e o ICNIRP 2010 (a vermelho).

(Fonte: Grassi et al., 2012)

Até aos 25 Hz os níveis de referência do ICNIRP de 1998 e 2010 são coincidentes. A partir daí as diferenças são visíveis, tomando maior expressão para as frequências mais altas.

Os níveis de referência para a corrente de contacto até aos 10 MHz coincidem com os anteriormente apresentados nas linhas de orientação da ICNIRP 1998, conforme Tabela 18.

Campos estáticos

Para campos estáticos (0 Hz), o ICNIRP publicou em 2009 as linhas de orientação sobre os limites de exposição aos campos magnéticos estáticos, tendo definido os limites de exposição apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Limites de exposição a campos magnéticos estáticos

<i>Características da exposição</i>	<i>Densidade do fluxo magnético</i>
Ocupacional	
<i>Exposição da cabeça e tronco</i>	2 T
<i>Exposição dos membros</i>	8 T
Público em geral	
<i>Exposição de qualquer parte do corpo</i>	400 mT

(Fonte: ICNIRP 2009)

2.2.3 WHO (OMS/IARC)

A OMS (Organização Mundial de Saúde) é um organismo das Nações Unidas especializada em assuntos de saúde.

Em 1996, criou o *International EMF Project*, com o intuito de avaliar os efeitos sobre a saúde e o ambiente da exposição a CEM estáticos e variáveis no tempo, na gama 0 Hz a 300 GHz.

A Agência Internacional para pesquisa sobre cancro (IARC) faz parte da Organização Mundial de Saúde. A sua missão é coordenar e conduzir pesquisas sobre as causas do cancro humano, os mecanismos da carcinogénese, e desenvolver estratégias científicas para o controle do cancro. A Agência está envolvida na investigação, tanto epidemiológica e laboratorial e dissemina a informação científica através de monografias.

As monografias da IARC identificam fatores ambientais que podem aumentar o risco de cancro humano. Isto inclui químicos, misturas complexas, exposições profissionais, agentes físicos e biológicos e fatores associados ao estilo de vida.

Desde 1971, mais de 900 agentes foram avaliados, dos quais aproximadamente 400 foram identificados como carcinogénicos ou potencialmente carcinogénicos para os humanos. A IARC classifica os agentes quanto à sua carcinogenicidade, de acordo com a Tabela 23.

Tabela 23 – Classificação por grupos quanto à carcinogenicidade do agente

Grupo	Classificação do agente	Descrição
1	Carcinogénico para humanos	Evidência suficiente de carcinogenicidade em humanos
2A	Provavelmente cancerígeno para humanos	Evidência limitada de carcinogenicidade em humanos e suficiente em experiências com animais
2B	Possivelmente cancerígeno para humanos	Evidência limitada de carcinogenicidade em humanos e insuficiente em experiências com animais
3	Não classificável como cancerígeno para humanos	Evidência inadequada de carcinogenicidade em humanos e inadequada ou limitada em experiências com animais
4	Provavelmente não cancerígeno para humanos	Evidência não haver carcinogenicidade em humanos e em experiências com animais

(Fonte: IARC, 2011)

Em 2002, a IARC classifica os campos magnéticos de frequência extremamente baixa (ELF: 1Hz – 100 kHz) como **possivelmente cancerígenos para o homem** (Grupo 2B), os campos elétricos e magnéticos estáticos e os campos elétricos de frequência extremamente baixa como **não classificáveis como cancerígenos para o homem** (Grupo 3). Esta avaliação foi publicada no Volume 80 das monografias da IARC.

Em 2011, a 31 de maio em Lyon, França, a OMS/IARC classificou os campos eletromagnéticos de radiofrequência (RF: 100 kHz – 300 GHz) como **possivelmente cancerígenos para o homem** (Grupo 2B), tendo por base o aumento do risco de glioma, um tipo de cancro maligno do cérebro, associado ao uso de telemóveis. Esta avaliação será publicada no Volume 102 das monografias da IARC. A Tabela 24 apresenta um resumo desta classificação.

Tabela 24 – Classificação dos CEM estáticos, FEB e RF quanto à sua carcinogenicidade

Agente	Grupo
Campos magnéticos de frequência extremamente baixa (ELF: 1Hz – 100 kHz)	2 B Possivelmente cancerígeno para o homem
Campos eletromagnéticos de radiofrequência (RF: 100 kHz – 300 GHz)	
Campos elétricos de frequência extremamente baixa (ELF: 1Hz – 100 kHz)	3 Não classificável como cancerígeno para o homem
Campos elétricos estáticos	
Campos magnéticos estáticos	

(Fonte: IARC, 2011)

2.2.4 NORMAS

Nos últimos anos têm vindo a ser publicadas normas por diferentes entidades na área das radiações não ionizantes. De referir que, tal como as linhas de orientação do ICNIRP, amplamente divulgadas, as normas não são de cumprimento obrigatório, a menos que sejam adotadas pelo direito interno de um determinado país.

As entidades mais diretamente relacionadas com a produção de tais normas são o CENELEC – *Comité Européen de Normalisation Electrotechnique*, que está na origem das normas europeias (EN) e o IEEE – *International Committee on Electromagnetic Safety*. No âmbito do presente trabalho destacam-se as seguintes normas:

- EN 50413:2008 - Norma básica para procedimentos de medição e cálculo da exposição humana a CEM (0-300 GHz).

Esta norma europeia estabelece métodos genéricos para a medição e cálculo da exposição humana a CEM (0 Hz – 300 GHz). Sempre que possível, devem ser aplicadas normas específicas focadas no equipamento e/ou local de trabalho em concreto.

- EN 50499:2008 - Procedimento para a avaliação da exposição dos trabalhadores a CEM (0 Hz a 300 GHz).

- EN 50444:2008 - Norma de base para a avaliação de exposição das pessoas ao campo electromagnético de um equipamento de soldadura por arco e processos relacionados.

Esta norma especifica procedimentos para avaliar os campos eletromagnéticos produzidos por equipamentos de soldadura (por arco elétrico) e define condições standards de operação e de teste. Esta norma pode ser usada como base para demonstrar cumprimento com os requisitos nacionais e internacionais relativos à exposição a CEM produzidos pelos aparelhos de soldar por arco elétrico;

- EN 50445:2008 - Norma de família de produto para demonstrar a conformidade de um equipamento para a soldadura por resistência, soldadura por arco e processos relacionados com restrições de base relativas à exposição das pessoas aos campos electromagnéticos (0 Hz - 300 GHz);
- EN 50505:2008 - Norma de base para a avaliação de exposição das pessoas ao campo electromagnético de um equipamento de soldadura por resistência e processos relacionados.

Esta norma europeia estabelece um método de avaliação apropriado para a determinação dos CEM em torno do equipamento e define condições standard de operação e distâncias de medição;

- EN 12198-1:2000 + A1:2011 (Ed.1) - Segurança de máquinas. Avaliação e redução dos riscos devidos às radiações emitidas pelas máquinas. Parte 1: Princípios gerais.

Esta norma define os princípios gerais de identificação e avaliação das radiações emitidas pelas máquinas e define a classificação das máquinas segundo os níveis de radiação emitida (Categorias 0, 1 e 2), conforme Tabela 25.

Tabela 25 – Classificação das máquinas segundo os níveis de radiação emitida

Categoria	Restrições e medidas de proteção	Informação e formação
0	Nenhuma restrição	Nenhuma informação necessária
1	Restrições: limitação de acesso, medidas de proteção eventualmente necessárias	Informações sobre os fenómenos perigosos, riscos e efeitos secundários
2	Restrições particulares e medidas de proteção indispensáveis	Informações sobre os fenómenos perigosos, riscos e efeitos secundários; formação eventualmente necessária

(Fonte: NP EN 12198:2000+ A1 2011)

Estipula também que o fabricante deve especificar, nas instruções de operação, as utilizações previstas para a máquina, a categoria de emissão de radiação e os modos de funcionamento. Se a categoria de emissão de radiação é 1 ou 2, o fabricante deve adicionalmente, indicar o tipo e o nível de radiação que pode ser emitido pela máquina.

As máquinas classificadas nas categorias 1 e 2 devem ter uma marcação adequada, constituída por um sinal de aviso indicando o tipo de emissão de radiação (campo

magnético ou radiação eletromagnética), a categoria e o número da norma EN 12198, conforme apresenta a Figura 9.



Figura 9 – Sinal de aviso para as emissões de campo magnético da categoria 1 e eletromagnéticas de categoria 2, respetivamente.

(Fonte: NP EN 12198-1:2000+A1 2011)

- EN 12198-2:2000 + A1:2008 (Ed.1) - Segurança de máquinas. Avaliação e redução dos riscos devidos às radiações emitidas pelas máquinas. Parte 2: Procedimentos de medição da radiação emitida.

Define requisitos básicos dos equipamentos de medição de radiações, bem como alguns princípios a ter em conta nas medições.

- EN 12198-3:2002 + A1:2008 (Ed.1) - *Safety of machinery. Assessment and reduction of risks arising from radiation emitted by machinery. Part 3: Reduction of radiation by attenuation or screening.*

Define princípios básicos que as proteções das máquinas de equipamentos que emitem radiações perigosas devem respeitar por forma a que sejam eficientes e, deste modo reduzam o risco para a saúde dos trabalhadores.

- IEEE C95.3.1 – 2010 – *Recommended Practice for Measurement and Computations of Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 0 to 100 kHz.*
- IEEE C95.3. – 2002 (R2008) – *Recommended Practice for Measurement and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz to 300 GHz.*
- IEEE C95.6 – 2002 – *Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 to 3 kHz.*
- IEEE C95.7 – 2005 – *Recommended Practice for Radio Frequency Safety Programs, 3 kHz to 300 GHz.*
- IEEE C95.1 – 2006 - *Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz.*

2.3 Conhecimento Científico

Há um reduzido número de estudos contendo medições de campos magnéticos realizados para a soldadura por arco elétrico e por resistência.

Em 1979, Wertheimer e Leeper (1979), através do estudo epidemiológico: “Electrical wiring configurations and childhood cancer”, associaram a incidência de uma forma de cancro pediátrico (leucemia linfóide aguda, LLA) com a exposição a CEM, devido ao facto dessas crianças habitarem em casas junto a linhas de distribuição de energia elétrica. Este estudo veio alertar a comunidade científica internacional e as populações para os eventuais riscos inerentes à exposição a CEM. Estas preocupações, também pelo interesse que o público e os meios de comunicação lhe dedicaram, estimularam a investigação de carácter científico que se lhe seguiu. Desde então, têm sido publicados, um pouco por todo o mundo, resultados de estudos sobre a influência dos CEM na saúde humana.

Em 1988, Bowman et al. (1988), num estudo com trabalhadores eletricitas efetuaram medições a frequências extremamente baixas (FEB) abaixo de 100 Hz, junto a oito soldadores TIG. Os campos magnéticos medidos eram extremamente baixos comparativamente com os reportados por outros investigadores, de 2,4 – 9,0 μT (média) para processos TIG com corrente alterna (CA) e de 0,4-1,6 μT (média) para processos TIG com corrente contínua (CC). Não foram dados valores para as correntes de soldadura.

Em 1989 Stuchly e Lecuyer efetuaram um estudo, que foi reproduzido em 1994 pelo NRPB (National Radiological Protection Board) através do relatório R265 de Allen et al. (1994), em que foram efetuadas medições, de campos magnéticos em processos de soldadura por arco elétrico, afastadas 10 cm do corpo do soldador. Foram medidos campos magnéticos de 200 μT , 300 μT e 400 μT ao nível da cabeça dos soldadores, peito e cintura, respetivamente, e de cerca de 1000 μT junto à mão que segura a tocha. Foram também efetuadas medições a 10 cm dos cabos de soldadura. O campo magnético máximo obtido nestas condições foi superior a 1256 μT , o que é cerca de 3 vezes superior aos níveis de referência do ICNIRP (1998/2010 – exposição ocupacional: $25/f=417 \mu\text{T}$) a 60 Hz. Todas as medições foram efetuadas em rms à frequência onde o campo é mais elevado, o que na maior parte dos casos foi observado aos 60 Hz, embora tenham sido verificadas situações em que o campo magnético foi mais elevado por volta dos 120 – 180 Hz.

Neste estudo, foram também efetuadas medições em máquinas de soldar por pontos, a 10 cm do corpo, para a cabeça, peito, cintura, gónadas, mãos e pernas, contudo não foi fornecida informação sobre a posição dos soldadores relativamente ao equipamento de soldadura. Os valores de campo magnético mais elevado foram obtidos para uma máquina de soldar por pontos portátil, tendo-se obtido 438 μT , 625 μT e 1000 μT para a cintura, gónadas e mãos respetivamente. Este artigo sugere que para a soldadura por resistência o conteúdo harmónico dos campos é menor do que para a soldadura por arco elétrico.

Em 1994 Allen et al. (1994) apresentou algumas medições efetuadas pelo NRPB em soldadores TIG. Foram medidos campos magnéticos de 100-200 μT na posição do

operador, 100 μT junto à fonte de energia (junto ao equipamento) e 1000 μT à superfície do cabo de soldadura. Não foram fornecidas informações sobre a corrente de soldadura nem sobre se o equipamento era de corrente contínua (CC) ou alternada (CA).

Em 1997, Skotte e Hjollund (1997) avaliaram a exposição a campos magnéticos de frequência extremamente baixa (FEB) de soldadores e outros trabalhadores da metalomecânica e compararam a exposição para diferentes processos de soldadura. As medições foram realizadas ao longo do dia de trabalho usando um dosímetro pessoal fixo ao cinto, tendo sido obtidos campos magnéticos instantâneos típicos de 100 μT para soldadura por eletrodo revestido (CA) e 10 μT para soldadura MIG/MAG (CC). Para o turno completo dos soldadores o valor médio diário foi de 21,2 μT para a soldadura por eletrodo revestido e 2,3 μT para MIG/MAG. Isto equivale a exposições médias ao longo do tempo de soldadura real de 65 μT para a soldadura por eletrodo revestido e 7 μT para o processo MIG/MAG. Foram também efetuadas algumas medições de curta duração (duração de uma tarefa de soldadura) a 1 cm dos cabos de soldadura, tendo-se obtido 5 mT para a soldadura por arco submerso e 0,9 – 1,9 mT para o MIG/MAG.

Silny et al. (2001) mediram campos magnéticos entre 20 μT e 700 μT nas proximidades de equipamentos de soldadura por resistência.

Em 2002, Cooper (2002) apresentou resultados de um número considerável de medições efetuadas pelo NRPB em máquinas de soldar por resistência. As medições foram efetuadas variando o afastamento aos eletrodos. Algumas das medições foram realizadas à altura da cabeça. Foram medidos campos estáticos de 30 mT e 10 mT a respetivamente, 5 cm e 20 cm dos eletrodos, utilizando uma máquina de soldar por pontos a 14,1 kA (CC). Para correntes de soldadura de 8 kA o campo magnético obtido na posição do operador foi de apenas 0,2 mT e de 1 mT na posição dos membros.

Doebbelin et al. (2002), investigaram o output e os campos magnéticos de uma máquina de soldar por resistência de elevada frequência, a operar a 1 kHz (CC). As componentes fundamentais do campo ocorreram para as frequências de 2 kHz e 300 Hz a partir da corrente alternada retificada. Através de medições e cálculos concluiu-se que a distância mínima admissível aos eletrodos era de 30 cm. Este trabalho foi suportado por Nadeem et al. (2002) que simularam a corrente induzida no corpo através de um modelo humano 3D. Verificou-se que para 34 cm de afastamento da máquina a densidade de corrente induzida era de 7 mA/m², o que é inferior às restrições básicas do ICNIRP (1998).

Em 2005, GB Melton (2005) efetuou várias medições de campos magnéticos em processos de soldadura por resistência e por arco elétrico. O valor mais elevado registado foi de 13,08 mT a 50 Hz e 15 kA, a 10 cm de distância dos eletrodos, de uma máquina de soldar por resistência monofásica (CA). Com este equipamento de soldadura, verificou-se que os níveis de referência do ICNIRP (1998) são excedidos para a posição de afastamento típico de 30 cm dos eletrodos e até distâncias de 1 m. Verificou-se que os campos magnéticos produzidos por uma máquina de soldar por resistência trifásica (CC) são inferiores aos produzidos por uma máquina de soldar por resistência monofásica (CA) para frequências

comparáveis, contudo os níveis de referência foram excedidos para um afastamento aos elétrodos de 30 cm. Melton constatou que os campos magnéticos de uma máquina trifásica de soldadura por resistência predominavam nos 150 Hz, onde se obteve o valor máximo de 1605 μT , contudo apresentavam harmónicos significativos até aos 1200 Hz (3 μT). Medições efetuadas com uma máquina de soldar por resistência com *inverter* (CC) revelaram a uma distância de 30 cm dos elétrodos e a 2000 Hz, 11 μT e 19 μT , para uma corrente de soldadura de 5 kA e 15 kA, respetivamente. Para a soldadura por elétrodo revestido convencional (CA), verificou-se que os campos magnéticos predominam na frequência dos 50 Hz, com harmónicos a 100 Hz e 150 Hz, tendo-se registado 644 μT a 10 cm de distância dos cabos e para uma corrente de soldadura de 200 A. Para a soldadura por elétrodo revestido com *inverter*, na posição do soldador, para uma corrente de soldadura de 200 A, foram registados 175 μT a 155 Hz e a uma altura do solo de 100 cm, verificando-se que o campo magnético é maior para a parte inferior do tronco. Em processos de soldadura MIG/MAG, verificou-se que para baixas correntes (150 A) e correntes altas (300 A) os níveis de referência do ICNIRP (1998) não foram ultrapassados, contudo para os 200 A e com o equipamento em corrente pulsada (*pulse*) obteve-se 170 μT aos 191 Hz, tendo o nível de referência do ICNIRP (1998) sido ultrapassado num fator de 1,3.

Em 2006, o Herrault (INRS) efetuou um estudo com máquinas de soldar por resistência, recorrendo a quatro soluções distintas existentes no mercado: máquina de soldar por pontos fixa (tipo prensa); máquina de soldar por pontos com transformador integrado na tocha; máquina de soldar por pontos com transformador remoto; máquina de soldar por pontos contínuos (com recurso a 2 rodas nas extremidades dos elétrodos e que permitem efetuar soldaduras contínuas). Todas as medições foram efetuadas a 50 Hz em planos horizontais e de acordo com três eixos de medição: o primeiro de frente para os elétrodos (0°), o segundo a 45° relativamente aos elétrodos/tocha e o terceiro a 90° relativamente aos elétrodos/tocha. Para cada uma dessas direções foram recolhidos valores a cada 10 cm, até aos 90 cm de afastamento. Foram também recolhidos valores junto às máquinas e junto às consolas de comando. Verificou-se, para todas as máquinas em estudo que:

- O campo magnético é mais fraco para a posição frontal aos elétrodos (0°). Para a mesma distância ele aumenta de intensidade para o eixo de medição a 45° relativamente aos elétrodos, atingindo-se os valores mais elevados no eixo a 90°, isto é, medição perpendicular à tocha/elétrodos;
- Para os três eixos (0°, 45° e 90°) em que foram efetuadas as medições, o campo magnético é mais forte no plano situado à altura do ponto de soldadura. Há medida que se afasta o ponto de medição, para baixo ou para cima, mais o campo magnético decresce;
- Para as prensas de soldadura, verificou-se que o campo magnético é muito baixo na parte traseira da máquina e junto à consola de comando;

- Para o caso das máquinas com o transformador integrado nas pinças/tocha, o campo magnético é baixo na parte traseira destas, local onde o operador habitualmente se posiciona;
- Para o caso das máquinas em que o transformador é remoto, isto é está integrado na máquina propriamente dita, existindo apenas entre estas e a tocha os cabos de ligação, constatou-se que o campo é muito elevado ao longo do cabo de ligação entre o transformador e a pinça;
- O tempo de soldadura não tem influência sobre o valor do campo magnético, exceto que deve ser superior a 100 ms para que seja medido pelo equipamento de medição;
- Conforme previsto teoricamente, este estudo demonstrou que o campo magnético é diretamente proporcional ao valor da corrente de soldadura;
- A altura da tocha/eléktrodo tem uma influência sobre o campo magnético superior à do seu comprimento. Para uma mesma superfície, uma tocha mais alta produzirá um campo mais forte;
- O campo magnético é mais forte, para todas as máquinas objeto de estudo, do lado do circuito da corrente de soldadura (perpendicularmente ao plano da pinça).

Ah-Keow Man e Radiman Shahidan (2007) elaboraram um estudo com o objetivo de estimarem a exposição de soldadores a campos magnéticos ao longo da vida, uma vez que os efeitos adversos na saúde dependem do tipo de processo de soldadura (MIG/MAG, TIG, soldadura por resistência, eléctrodo revestido, etc.) e também da duração das mesmas. De facto, muitos soldadores trabalham o dia inteiro apenas nesta tarefa, enquanto que outros executam pequenas tarefas de soldadura durante curtos intervalos de tempo. A exposição foi quantificada através de medições, entrevistas aos soldadores (idade, duração diária das tarefas de soldadura e número de anos como soldadores), observação do local e tarefas de soldadura. A Figura 10 apresenta os valores médios do campo magnético, para cada um dos processos de soldadura, obtidos nos soldadores (56 soldadores) em estudo.

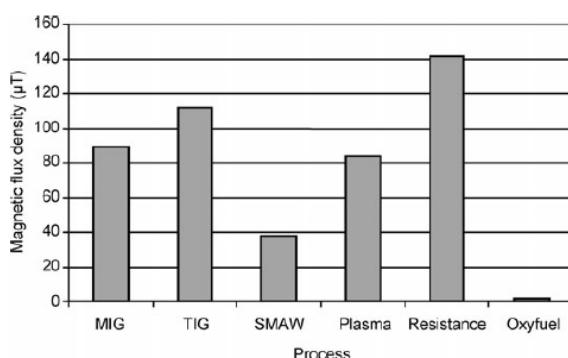


Figura 10 – Níveis médios de exposição aos campos magnéticos, obtidos ao nível da cintura.

(Fonte: Man AK, 2007)

A exposição ao longo da vida (LE – *Lifelong Exposure*), foi determinada por: $LE = B [\mu T] \times \text{número médio de horas/dia} \times \text{número de dias/ano em que as tarefas de soldadura são executadas} \times \text{número de anos de exposição}$. Dado que 6 dos soldadores não sabiam exatamente o ano em que tinham iniciado a sua atividade, não foram considerados no cálculo de LE. Verificou-se que estes soldadores (50) apresentaram uma vasta gama de níveis de exposição a campos magnéticos ao longo da vida (LE), dependendo dos tipos de processos de soldadura e duração das tarefas. Este é um indicador importante a ter em conta na avaliação dos efeitos adversos na saúde, resultantes da exposição a campos magnéticos nos processos de soldadura. A exposição simultânea aos fumos da soldadura pode complicar a interpretação dos efeitos adversos dos CEM da soldadura sobre a saúde.

Em 2011, Sachiko Yamaguchi-Sekino et al. (2011), efetuaram um estudo sobre o nível de exposição a campos eletromagnéticos de soldadores durante o trabalho para a posição da mão. Uma vez que os efeitos biológicos dos CEM dependem das propriedades do campo, é fundamental caracterizar as frequências em que ocorrem e as respetivas densidades de fluxo magnético. As propriedades do campo na soldadura dependem do tipo de processo (MIG/MAG, TIG, eletrodo revestido, etc.) e das características da fonte de alimentação (CC, sinusoidal CA, onda quadrada, etc.). Para efetuar as medições utilizaram uma pinça amperimétrica e um osciloscópio para caracterizar a intensidade de corrente de soldadura e a frequência fundamental do campo. A exposição máxima ao campo magnético foi de 0,35-3,35 mT (média \pm SD: $1,55 \pm 0,93$ mT, para 17 medições realizadas em 5 empresas). O valor médio da exposição diária foi de 0,04-0,12 mT (média \pm SD: $0,07 \pm 0,02$ mT, para 17 medições realizadas em 5 empresas). O resultado do campo magnético, obtido por dosimetria ao nível do pulso, foi de 1,49 mT, o que induz no pulso uma densidade de corrente de $4,28 \text{ mA/m}^2$, o que é bastante inferior ao estabelecido no ICNIRP (1998).

Em 2012, Kamil J. Ali (2012) efetuou medições em três tipos de máquinas de soldar por arco elétrico – máquina de soldar DC, máquina de soldar monofásica AC/AC e máquina de soldar trifásica AC/DC. As medições foram efetuadas a 10 cm, 50 cm e 1 m da tocha. Os campos mais elevados foram obtidos, a 10 cm da tocha, para a máquina de soldar por arco elétrico trifásica AC/DC a 50 Hz – 410 μT para uma corrente de soldadura de 250 A, 220 μT para 150 A e 92 μT para 100 A. Para a máquina de soldar monofásica AC/AC, a 50 Hz, a 10 cm de distância da tocha e para a corrente de soldadura de 250 A, 130 A e 92 A, obteve respetivamente, 180 μT , 140 μT e 58 μT . Nas mesmas condições, foram obtidos a 50 cm de distância, 140 μT , 49 μT e 34 μT e a 1 m de distância 18 μT , 22 μT e 18 μT . Para a máquina de soldar DC a 50 Hz e para a corrente de soldadura de 120 A, 90 A e 60 A, obteve 81 μT , 40 μT e 18 μT a 10 cm de distância da tocha; 26 μT , 13 μT e 8 μT a 50 cm da tocha; 6 μT , 7 μT e 3 μT a 1 m de distância da tocha.

A revisão da literatura sugere que os níveis de referência do ICNIRP (1998) para os campos magnéticos podem ser ultrapassados para os processos de soldadura por arco elétrico e por resistência. Foram medidos junto ao corpo dos operadores, campos magnéticos de 400 μT para a soldadura por arco elétrico e cerca de 4000 μT para a soldadura por resistência. Na soldadura por arco elétrico é comum que o operador esteja

em contato com o cabo de soldadura para os quais foram medidos campos magnéticos de 5000 μT . Infelizmente, devido à falta de dados experimentais, é difícil de interpretar muitas das medições pois, faltam ou são incorretas algumas informações importantes, tais como a corrente de soldadura e a distância de medição. Alguns estudos têm indicado que o campo magnético é composto por muitas componentes harmônicas, mas a maioria das medições têm sido efetuadas em toda a banda de medição do equipamento de medição. O conhecimento das componentes da frequência do campo magnético é fundamental para fazer uma avaliação precisa da exposição e comparar com os níveis de referência estabelecidos. Por conseguinte, as medições detalhadas da amplitude e do espectro de frequência do campo magnético nas proximidades do equipamento de soldadura são necessárias para fazer uma verdadeira avaliação dos campos aos quais os soldadores estão expostos.

Habitualmente, as amplitudes das componentes relevantes da frequência dos campos gerados durante a soldadura são baixas. A informação atualmente disponível não sugere efeitos térmicos excessivos devido aos campos eletromagnéticos produzidos pela corrente de soldadura (ao contrário dos bem conhecidos efeitos térmicos superficiais provocados pela radiação infravermelha que emerge do processo de soldadura por arco elétrico), quer nos processos por arco elétrico quer por resistência.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 Radiação Eletromagnética

3.1.1 Origem e Classificação

A radiação eletromagnética está presente desde os primórdios dos tempos, sendo a luz visível a sua expressão mais habitual. O Sol é a maior e mais importante fonte de radiação eletromagnética natural para os seres terrestres, cuja vida depende do calor e da luz recebidos através de ondas eletromagnéticas.

A palavra *radiação* está relacionada com a noção de propagação de energia no espaço, e o termo *eletromagnética* revela que se trata de campos elétricos e magnéticos, normalmente perpendiculares entre si e variando periodicamente. Isto significa que, num determinado ponto do espaço sujeito a radiação, o campo elétrico varia periodicamente com o tempo, assim como o campo magnético.

O espectro da radiação eletromagnética estende-se desde a eletricidade (linhas de transporte, distribuição e consumo de eletricidade – muito alta, alta, média e baixa tensões), passando pelas radiofrequências (banda de frequências em que operam os telemóveis) e micro-ondas (usadas pelos fornos de micro-ondas), radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta (conhecida pelos riscos associados às prolongadas exposições solares – radiações não ionizantes, até às radiações ionizantes, como é o caso dos raios X (utilizados em exames médicos de diagnóstico).

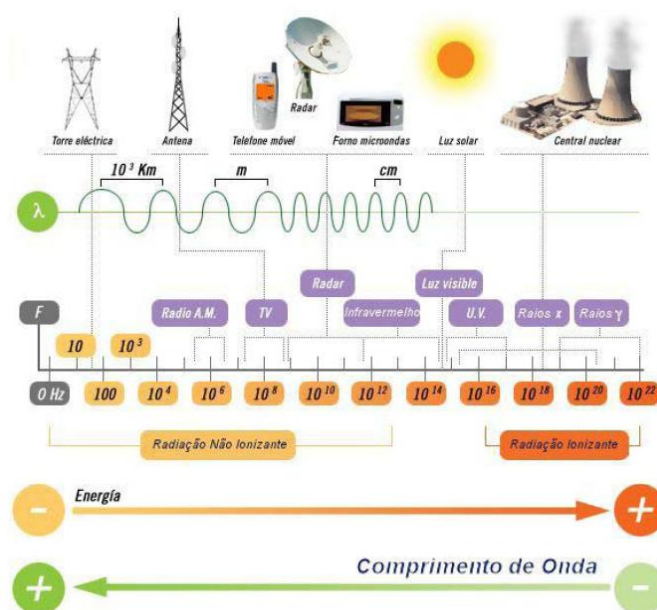


Figura 11 – Espectro Eletromagnético.

(Fonte: Direção-Geral da Saúde, 2007)

Toda a radiação eletromagnética pode ser caracterizada pela energia dos seus fótons, pelo seu comprimento de onda (λ) e pela frequência (f). A quantidade de energia contida numa onda eletromagnética depende da sua frequência e do comprimento de onda (Eq. 2). Quanto menor é o comprimento de onda, maior a frequência e a energia da onda eletromagnética.

$$E = h.f = h.\frac{c}{\lambda} \quad \text{Eq. 2}$$

em que,

h - constante de Planck

c - velocidade de propagação da luz no vácuo ($\approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

f - frequência, em Hz (número de ciclos por segundo)

λ - comprimento de onda, em m (distância entre dois máximos consecutivos de uma onda eletromagnética)

A Figura 11 mostra o espectro eletromagnético com alguns exemplos de aplicações associadas a cada gama do espectro, que vai desde os campos estáticos a 0 Hz, passando pelas linhas de transporte de energia elétrica de alta tensão (50-60Hz), até aos raios x e γ , com frequências muito altas e comprimentos de onda muito pequenos.

As radiações não ionizantes (RNI) não possuem energia suficiente para ionizar átomos e moléculas, podem contudo, interagir direta ou indiretamente com o corpo humano, causando efeitos biológicos a curto ou longo prazo. Estes efeitos podem ser classificados em térmicos e não térmicos.

As RNI podem ser geradas de forma natural, sendo a principal fonte o Sol (radiações infravermelhas, visíveis e ultravioletas) e de forma artificial – transporte e distribuição de energia elétrica, todos os equipamentos elétricos e eletrónicos, domésticos e industriais.

De referir que em 2002, a IARC classificou os campos magnéticos de frequência extremamente baixa (ELF: 1Hz – 100 kHz) como **possivelmente cancerígenos para o homem** (Grupo 2B), e, mais tarde, em 2011 classificou os campos eletromagnéticos de radiofrequência (RF: 100 kHz – 300 GHz) como **possivelmente cancerígenos para o homem** (Grupo 2B). Por outro lado, classificou os campos elétricos e magnéticos estáticos e os campos elétricos de frequência extremamente baixa como **não classificáveis como cancerígenos para o homem** (Grupo 3).

A radiação ionizante (RI) – radiação com energia suficiente de modo que durante uma interação com um átomo, possa remover os eletrões da órbita de um átomo, fazendo com que este se torne ionizado (OMS, 2012).

As principais fontes de radiação ionizante são naturais. A radiação ionizante encontra-se presente em toda a parte da nossa vida. Ocorre naturalmente na terra podendo também ter origem no espaço exterior – os designados raios cósmicos. A radiação ionizante pode também estar presente na água e nos solos. Pode igualmente existir nos alimentos, nos materiais de construção, e também no corpo humano.

A radiação é usada na investigação científica, em aplicações médicas e, em muitos outros sectores industriais para além do nuclear. A origem da exposição às radiações ionizantes a que a população em geral poderá estar exposta encontra-se representada na Figura 12.

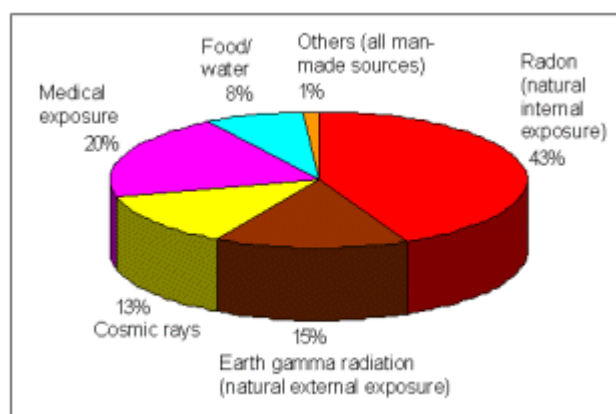


Figura 12 – Distribuição da exposição média à radiação ionizante por tipo de fonte.

(Fonte: OMS, 2012)

As RI interagem com a matéria a nível atómico. Ao atravessarem um material transferem energia para as partículas que encontram na sua trajetória. Quando esta energia é superior à energia de ligação do eletrão com o átomo, este é separado da estrutura atómica, formando um ião positivo (protão) e um negativo (eletrão). Se o número de eletrões na nuvem envolvente é igual ao número de prótons no núcleo, o átomo no seu todo não está carregado. Se faltam eletrões, o átomo terá carga positiva estando assim ionizado. Os átomos de um elemento podem ter um número variável de neutrões no núcleo. Assim, o núcleo do hidrogénio pode conter um ou dois neutrões para além de um protão. Os átomos do mesmo elemento que se diferenciam pelo número de neutrões no núcleo designam-se por *isótopos* do mesmo elemento. Estes átomos instáveis transformam-se espontaneamente perdendo energia, transformando-se progressivamente em átomos mais estáveis.

Os efeitos destas transformações variam para cada molécula, com diferentes impactos nas diferentes células do corpo humano. No caso das radiações ionizantes, os efeitos biológicos dependem da dose absorvida (alta ou baixa), da taxa de exposição (crónica ou aguda) e da forma de exposição (localizada ou corpo inteiro). Qualquer dose absorvida, inclusive das doses provenientes de radiação natural, pode potencialmente induzir cancro.

Em 2000, o IARC classificou os raios x, γ e neutrões como **cancerígenos para o homem – Grupo 1**.

3.1.2 Campos Elétricos e Campos Magnéticos

Todo e qualquer equipamento elétrico ou eletrônico, que funciona com corrente alternada gera ondas eletromagnéticas. Estas são constituídas por duas entidades interdependentes entre si: o campo elétrico (E) e o campo magnético (H). Estes dois campos propagam-se de um modo ondulatório, transversal, perpendicularmente um em relação ao outro. Estes campos evoluem no tempo como uma onda, daí a sua designação *onda eletromagnética*, conforme Figura 13. O produto destes dois campos resulta na densidade de potência (S).

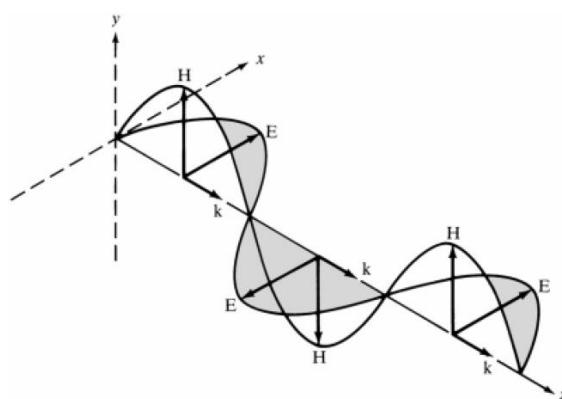


Figura 13 – Onda eletromagnética.

(Fonte: Keiser, 2000)

Uma onda eletromagnética corresponde a uma transferência energética sob a forma de um campo elétrico associado a um campo magnético.

A primeira previsão da existência de ondas eletromagnéticas ocorreu em 1864 com o físico escocês James Clerk Maxwell.

A primeira verificação experimental foi efetuada por Heinrich Hertz, em 1887.

Da teoria de Maxwell, podem extrair-se duas conclusões fundamentais:

- Um campo elétrico variável no tempo produz um campo magnético;
- Um campo magnético variável no tempo produz um campo elétrico.

A luz é uma onda eletromagnética, com campos elétricos e magnéticos que variam perpendicularmente entre si na direção da propagação.

Enquanto que os campos elétricos estão apenas associados à presença de carga elétrica, os campos magnéticos resultam do movimento físico da carga elétrica, ou seja, da corrente elétrica (Figura 14).

Quanto maior for a tensão, maior será a intensidade do campo elétrico.

Para baixas frequências os campos elétrico e magnético são considerados separadamente e surgem, por exemplo, da produção, transporte, distribuição e utilização de eletricidade, ocorrendo em redor dos cabos elétricos. Além disso, também surgem em torno de qualquer equipamento doméstico, de serviços ou industrial que produza eletricidade.

Um campo elétrico, E , exerce uma força sobre uma carga elétrica e expressa-se em volts por metro [$V.m^{-1}$]. Os campos magnéticos podem exercer forças físicas sobre cargas elétricas, mas apenas quando essas cargas estão em movimento e/ou o campo magnético varia ao longo do tempo. Os campos elétricos e magnéticos possuem intensidade e direção, isto é, são grandezas vetoriais.

O campo magnético resulta do fluxo de corrente através dos cabos ou aparelhos elétricos e aumenta de intensidade à medida que a corrente aumenta. Um campo magnético pode ser especificado de duas formas: como intensidade do campo magnético, H , expresso em ampere por metro [$A.m^{-1}$], ou como densidade do fluxo magnético, B , expresso em Tesla [T], é normalmente usado para descrever os fenómenos em frequências baixas. Muitas vezes, usam-se submúltiplos das unidades base como, por exemplo, militesla (mT), microtesla (μT) e nanotesla (nT). As duas grandezas relacionam-se entre si através da permeabilidade magnética, μ (Eq. 3) (ICNIRP:1998).

$$B = \mu \cdot H \quad \text{Eq. 3}$$

A permeabilidade magnética, μ no vácuo e no ar, bem como em materiais não magnéticos (incluindo biológicos) tem o valor de $4.\pi \times 10^{-7}$, quando expresso em Henry por metro [$H.m^{-1}$]. Assim, na descrição de um campo magnético para efeitos de proteção, apenas será necessário especificar uma das grandezas B ou H .

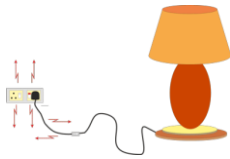

Campo Elétrico	Campo Magnético
<ul style="list-style-type: none"> • Produzido pela tensão. • A intensidade do campo é medida em $V.m^{-1}$. • O campo elétrico pode existir mesmo com o equipamento desligado (desde que haja tensão).  <ul style="list-style-type: none"> • A intensidade do campo diminui com o aumento da distância à fonte. • É facilmente atenuado por muitos materiais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produzido pela corrente. • A intensidade do campo é medida em $A.m^{-1}$; Habitualmente utiliza-se a densidade do fluxo magnético em T. • O campo magnético existe quando há corrente.  <ul style="list-style-type: none"> • A intensidade do campo diminui com o aumento da distância à fonte. • Não é facilmente atenuado por muitos materiais.

Figura 14 – Comparação entre campo elétrico e campo magnético.

(Fonte: HPA UK, 2012)

A exposição a campos magnéticos variáveis no tempo provoca correntes induzidas no corpo e os conhecidos efeitos adversos estão associados à excitação de nervos.

A densidade de potência representa a potência incidente por unidade de área, sendo a grandeza normalmente utilizada para frequências muito elevadas (radiações de radiofrequência e micro-ondas), onde a profundidade de penetração no corpo é baixa. É medida em Watt por metro quadrado [W.m^{-2}], podendo também utilizar-se Watt por centímetro quadrado [W.cm^{-2}].

Algumas das propriedades do campo elétrico e do campo magnético são semelhantes. Por exemplo, em ambos os casos a intensidade diminui à medida que aumenta a distância à fonte (Figura 15 e Figura 16). No entanto, no que respeita à possibilidade de isolamento, registam-se grandes diferenças: o campo elétrico pode ser facilmente isolado, enquanto que o campo magnético não, dada a sua capacidade de penetrar e atravessar quase todos os materiais (Figura 17 e Figura 18).

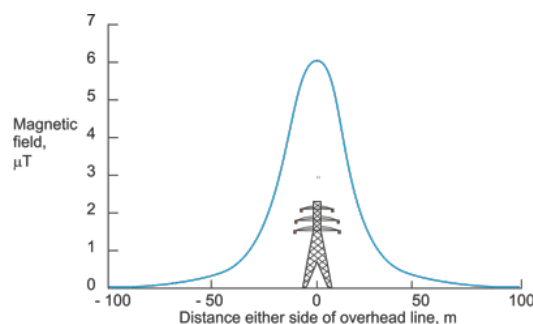


Figura 15 – Variação do campo magnético em função da distância à fonte, em linhas elétricas aéreas.

(Fonte: HPA UK, 2012)

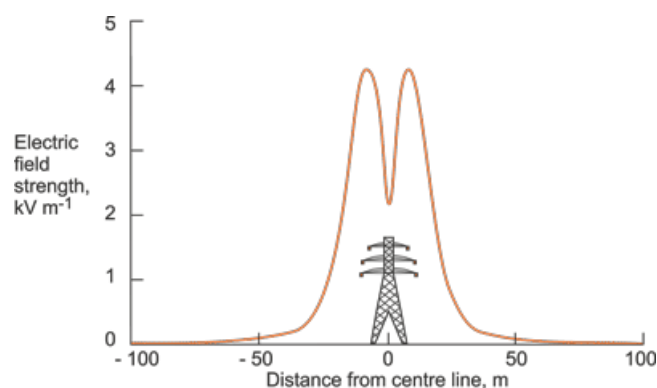


Figura 16 – Variação do campo elétrico em função da distância à fonte, em linhas elétricas aéreas.

(Fonte: HPA UK, 2012)

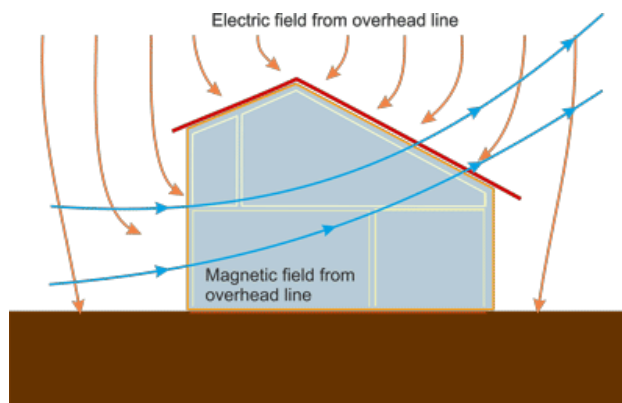


Figura 17 – Efeito do campo elétrico e do campo magnético na presença de obstáculos.

(Fonte: HPA UK, 2012)

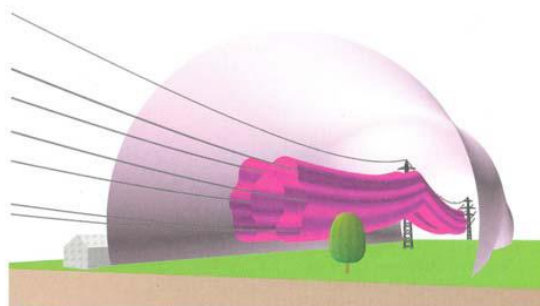


Figura 18 – Vista em perspectiva do campo magnético de uma linha de transporte de energia de 380 kV.

(Fonte: SAEFL, 2005)

3.1.3 Fontes de Campos Eletromagnéticos

Os campos eletromagnéticos estão presentes em todos os locais, podem ser naturais ou artificiais. A maior parte das fontes de campos eletromagnéticos naturais são estáticos (0 Hz). Por outro lado, a maior parte dos campos eletromagnéticos produzidos pelo homem são campos variáveis no tempo.

Os campos elétricos estáticos ocorrem naturalmente na atmosfera. A Terra tem um campo elétrico natural criado pela presença de cargas elétricas na atmosfera. Para condições de bom tempo atingem valores na ordem dos 100 V.m^{-1} , podendo alcançar os 3 kV.m^{-1} com trovoadas. Uma outra causa bastante comum de exposição humana a campos estáticos ocorre como resultado da fricção entre dois corpos. Por exemplo, quando corremos sobre um tapete não condutor podemos acumular cargas elétricas de alguns quilovolts criando campos elétricos de até 500 kV.m^{-1} . Outros exemplos de fontes de campos estáticos são as linhas de transmissão em corrente contínua (DC) que podem produzir campos elétricos estáticos até 20 kV.m^{-1} , os sistemas ferroviários que utilizam corrente contínua podem gerar campos elétricos até 30 V.m^{-1} a 5 m de distância do centro de linhas de 600 V (DC),

e também os ecrãs podem originar campos elétricos de $10\text{-}20\text{ kV.m}^{-1}$ a 30 cm de distância (OMS, 2006).

O campo magnético da Terra é o maior campo natural a que estamos expostos. O campo geomagnético varia ao longo da superfície da Terra entre cerca de $35 - 70\text{ }\mu\text{T}$ e está implicado na orientação e no comportamento migratório de certas espécies animais. Os campos magnéticos produzidos pelo homem são gerados quando se utiliza corrente contínua (CC), como é o caso em alguns transportes alimentados eletricamente, processos industriais como são exemplo os processos de soldadura. Há registos de valores de densidade de fluxo magnético na soldadura por arco elétrico que atingiram os 5 mT a 1 cm dos cabos (5 mT para o arco submerso e 0,9-1,9 para MIG/MAG) (OMS, 2006).

A exposição da generalidade das pessoas aos campos eletromagnéticos ocorre todos os dias e das formas mais variadas. Os equipamentos correntes – os eletrodomésticos nas cozinhas, os micro-ondas, os ecrãs dos computadores, os sistemas de segurança nas lojas, as redes de transporte de energia, as estações de rádio e de televisão, os seus respetivos aparelhos, os radares, entre outros, contribuem para uma exposição permanente aos CEM.

As fontes com origem humana que emitem a maioria dos campos de radiofrequências presentes no nosso ambiente, distribuem-se da seguinte forma:

- Espaço domiciliário – micro-ondas, telemóveis, alarmes de segurança, rádios, televisões e aparelhos de vídeo, entre outros equipamentos;
- Espaço profissional – sistemas de aquecimento industrial, equipamentos de soldadura, indústrias de radiodifusão, transporte e comunicação militares, equipamentos de diatermia médica para tratar a dor e a inflamação e instrumentos electro cirúrgicos;
- Espaço público – emissores rádio ou televisão, radares, equipamentos de comunicação entre profissionais de segurança e táxis, sistemas de telecomando. Níveis mais elevados de campos de radiofrequências podem ocorrer em áreas localizadas perto de locais onde estão sedeadas grande número de antenas ou sistemas de radar.

Na Tabela 26 encontram-se representados os valores típicos de campos elétricos a 30 cm de distância da fonte, gerados por aparelhos domésticos que trabalham a 50 Hz.

Tabela 26 – Valores médios de emissão de eletrodomésticos correntes a 30 cm de distância

Tipo de aparelho	Campo eléctrico [$V.m^{-1}$]
Ferro de engomar	120
Secador de cabelo	80
Máquina de café	60
Frigorífico	120
Televisão	60
Forno eléctrico	8
Aspirador de pó	50
Batedeira	100
Aparelhagem de som estéreo	180
Lâmpada	5
Torradeira	80
Nível de referência para o público em geral (ICNIRP 2008; Portaria 1421/2004): $5000 V.m^{-1}$	

(Fonte: OMS, 2012)

O campo eléctrico produzido pelas linhas de transporte de energia pode ser atenuado pela inclusão de proteções ou revestimentos, ou pela interposição de muros, edifícios e árvores, conforme ilustra a Figura 19. De tal forma que as linhas eléctricas enterradas quase não produzem campos eléctricos à superfície.

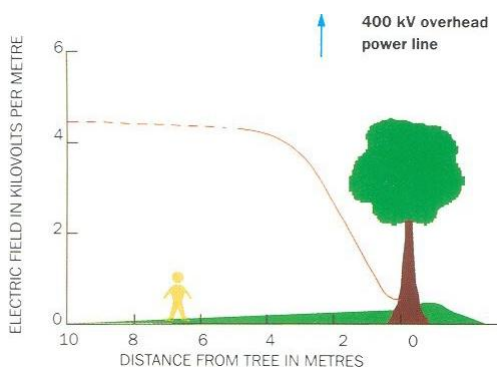


Figura 19 – Redução do campo eléctrico devido à proximidade de árvores.

(Fonte: NRPB, 2001)

Por seu turno, o isolamento do campo magnético é tecnicamente difícil, não se mostrando, por isso, economicamente viável. O campo magnético atravessa a maior parte dos materiais, pelo que o enterramento das linhas de transporte de energia não constitui solução para atenuar os seus efeitos, como acontece com o campo eléctrico. A forma mais eficaz de reduzir a exposição ao campo magnético é aumentar a distância à fonte. Quanto mais acima do solo estiverem instalados os condutores, tanto mais reduzido será o efeito do campo magnético (Figura 20).

Nas linhas eléctricas subterrâneas os cabos individuais são isolados e podem ser dispostos mais próximos do que os cabos aéreos, o que tende a reduzir o campo magnético produzido. Contudo, os cabos enterrados estão a distâncias menores do solo se comparados com os cabos de linhas aéreas. O resultado disto é que, os valores de campo magnético ao

lado do eixo central de uma linha subterrânea são menores do que os valores de campo magnético ao lado do eixo central da linha aérea equivalente, mas os valores de campo magnético sobre o eixo central da linha subterrânea são maiores se comparados aos valores da linha aérea equivalente.

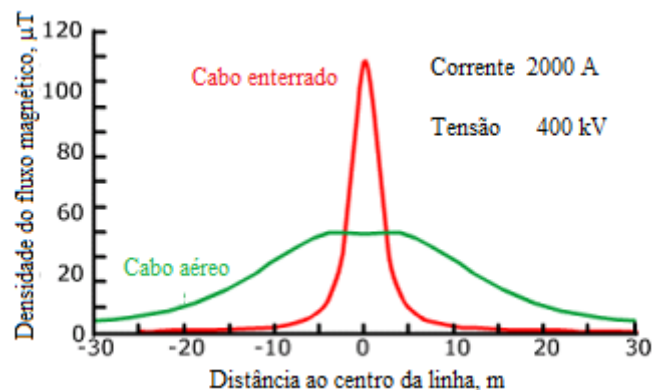


Figura 20 – Comparação dos valores de campos magnéticos de linhas aéreas (a verde) e subterrâneas (a vermelho) da mesma Tensão.

(Fonte: NRPB, 2001)

A intensidade do campo magnético não depende da complexidade, ruído ou dimensão dos equipamentos. Além disso, equipamentos aparentemente semelhantes podem apresentar valores de campos magnéticos muito diferentes. A Tabela 27, ilustra valores típicos de alguns eletrodomésticos que se encontram habitualmente nas habitações e locais de trabalho. As medições foram efetuadas na Alemanha e todos os aparelhos operam na frequência de 50 Hz.

Tabela 27 – Valores típicos de campos magnéticos em aparelhos domésticos a várias distâncias

Tipo de aparelho	a 3 cm [μ T]	a 30 cm [μ T]	a 1 m [μ T]
Secador de cabelo	6 – 2000	0,01 – 7	0,01 – 0,03
Máquina de barbear elétrica	15 – 1500	0,08 – 9	0,01 – 0,03
Aspirador de pó	200 – 800	2 – 20	0,13 – 2
Lâmpada fluorescente	40 – 400	0,5 – 2	0,02 – 0,25
Forno de micro-ondas	73 – 200	4 – 8	0,25 – 0,6
Rádio portátil	16 – 56	1	< 0,01
Forno elétrico	1 – 50	0,15 – 0,5	0,01 – 0,04
Máquina de lavar roupa	0,8 – 50	0,15 – 3	0,01 – 0,15
Ferro de engomar	8 – 30	0,12 – 0,3	0,01 – 0,03
Máquina de lavar louça	3,5 – 20	0,6 – 3	0,07 – 0,3
Computador	0,5 – 30	< 0,01	-
Frigorífico	0,5 – 1,7	0,01 – 0,25	< 0,01
Televisão	2,5 – 50	0,04 – 2	0,01 – 0,15
Nível de referência para o público em geral (ICNIRP 2008; Portaria 1421/2004): 100 μT			

(Fonte: OMS, 2012)

A Figura 21 ilustra a variação da densidade de fluxo magnético com a distância à fonte, para alguns eletrodomésticos de uso comum.

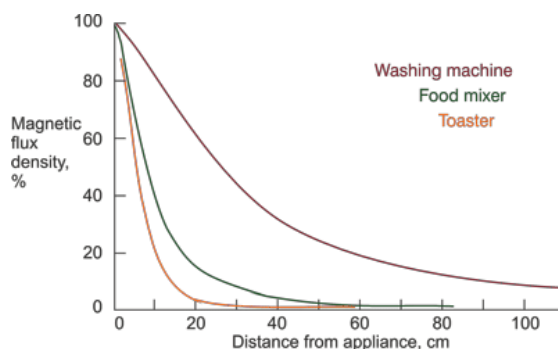


Figura 21 – Variação da densidade de fluxo magnético com a distância, para alguns eletrodomésticos.

(Fonte: NRPB, 2001)

3.2 Efeitos Biológicos dos Campos Eletromagnéticos

Os **efeitos biológicos** são respostas mensuráveis de organismos ou células a um estímulo ou a uma mudança no ambiente (OMS, 2002).

Essas mudanças não são necessariamente prejudiciais à sua saúde. Por exemplo, ouvir música, ler um livro, comer uma maçã ou jogar tênis irá produzir uma série de efeitos biológicos. No entanto, nenhuma destas atividades se espera que possam causar efeitos adversos na saúde. O corpo tem mecanismos sofisticados para se adaptarem às muitas e variadas influências que encontramos no nosso ambiente, contudo, pode não possuir mecanismos de compensação adequados para mitigar todas as mudanças ou pressões ambientais. A exposição ambiental prolongada, mesmo que não muito intensa, pode constituir uma ameaça se dela resultar fadiga.

Em seres humanos um **efeito adverso** resulta de um efeito biológico que cause um agravo detetável na saúde ou bem estar dos indivíduos expostos (OMS, 2002).

A observância dos limites de exposição recomendados nas regulamentações nacionais e internacionais ajuda a controlar os riscos das exposições a CEM que possam ser prejudiciais à saúde humana.

O debate atual está centrado em saber se a exposição durante longos períodos em níveis abaixo dos limites de exposição pode causar efeitos adversos à saúde ou influenciar o bem estar das pessoas.

Dentro de qualquer organismo vivo existem correntes elétricas endógenas que desempenham um papel importante nos mecanismos complexos de regulação fisiológica, como a atividade neuromuscular, as secreções glandulares, o funcionamento das membranas celulares e outros. Estes processos eletrofisiológicos podem, portanto, ser influenciados por CEM externos, naturais ou artificiais.

A radiação eletromagnética não ionizante não tem energia suficiente para provocar uma ionização, mas, em função da sua frequência, é capaz de induzir outros efeitos biológicos. A produção de calor foi a primeira a ser identificada, contudo os estudos mais recentes revelaram outras interações biológicas. De tais factos, é importante perceber os possíveis efeitos patológicos das ondas eletromagnéticas.

Para determinar se uma substância tem efeito nocivo sobre a saúde humana, os cientistas consideram os resultados de estudos em várias disciplinas e nenhum estudo ou tipo de estudo é definitivo. Para a avaliação dos possíveis efeitos dos CEM são utilizados estudos laboratoriais, clínicos e epidemiológicos.

Os CEM podem classificar-se em 3 grandes classes:

- CEM estáticos (0 Hz);
- CEM de baixas frequências (1 Hz a 100 kHz);
- CEM de altas frequências (100 kHz a 300 GHz).

Os campos magnéticos variáveis no tempo induzem correntes parasitas nas estruturas dos materiais condutores. A condutividade média (σ) dos tecidos vivos é de $0,2 \text{ S.m}^{-1}$, a qual é suficientemente elevada para criar correntes nos tecidos do corpo humano. Essas correntes, fluindo em seções transversais do corpo são caracterizadas pela densidade de corrente J , habitualmente expressa em $[\text{mA.m}^{-2}]$. As células podem ser estimuladas por estas correntes se a sua amplitude for suficientemente elevada, o tempo de duração da corrente induzida excede o *tempo de resposta* da célula e o tempo de subida da excitação é superior a um valor limite estabelecido. Estas condições para os efeitos da estimulação fazem com que a densidade de corrente induzida admissível e os correspondentes efeitos sejam dependentes dos níveis de frequência. A Figura 22 apresenta um resumo dos valores limite para a densidade de corrente induzida em função da frequência.

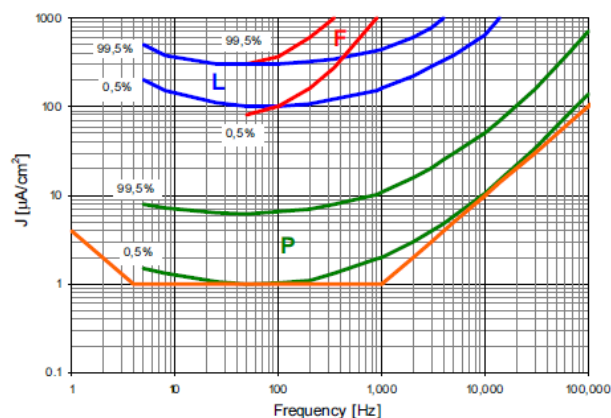


Figura 22 – Efeitos biológicos (estimulação) da densidade de corrente induzida na gama de frequências de 1 Hz a 100 kHz.

(Fonte: Mair, 2006)

Em que,

P – Intervalo estabelecido do limiar da percepção;

L – Intervalo estabelecido para o limiar do agarrar (*let-go threshold*);

F – Intervalo estabelecido para o limiar da fibrilação cardíaca irreversível.

Na Figura 22 todas as gamas são dadas para uma probabilidade de 0,5% a 99,5%. Os limites (restrição básica) para a densidade de corrente induzida (exposição ocupacional) do ICNIRP (1998) são apresentados a laranja.

Até à data, os estudos laboratoriais ainda não responderam à questão dos efeitos adversos na saúde humana dos CEM. Contudo, estes estudos deram pistas sobre o modo como os CEM interagem com os processos biológicos. A membrana celular pode ser um local importante de interação com as correntes induzidas dos CEM. Alguns destes efeitos são:

- Alterações nas funções das células e tecidos;
- Diminuição da produção de melatonina (hormona que regula o sono);
- Alterações no sistema imunitário;
- Acelera o crescimento de tumores;
- Altera os biorritmos;
- Alteração da atividade cerebral e da frequência cardíaca.

Os processos de soldadura por arco elétrico e resistência produzem radiação eletromagnética. Os efeitos potenciais sobre o corpo humano dependem da frequência dos CEM, da intensidade, da distância e duração de exposição. Os efeitos (conhecidos) da exposição a campos eletromagnéticos classificam-se em:

- Efeitos biofísicos diretos;
- Efeitos indiretos.

Os **efeitos biofísicos diretos** são diretamente provocados no corpo humano pela presença de um campo eletromagnético. Podem ser:

- **Efeitos térmicos** – aquecimento de um tecido por absorção de energia proveniente dos CEM no tecido;
- **Efeitos não térmicos** – estimulação dos músculos, nervos ou órgãos sensoriais, que podem ter consequências negativas para a saúde mental e física dos trabalhadores expostos. A estimulação dos órgãos sensoriais pode produzir sintomas passageiros como vertigens ou fosfenos. Estes efeitos podem provocar perturbações transitórias ou afetar a cognição ou outras funções cerebrais ou musculares;
- **Correntes nos membros.**

Os **efeitos indiretos** são provocados pela presença de um objeto num campo eletromagnético que podem dar origem a perigos para a segurança e saúde, nomeadamente:

- Interferência em equipamentos e instrumentos médicos eletrónicos, nomeadamente estimuladores cardíacos e outros implantes ou dispositivos médicos usados no corpo;
- Risco de projeção de objetos ferromagnéticos em campos magnéticos estáticos;
- Ativação de aparelhos eletroexplosivos (detonadores);
- Incêndios e explosões resultantes da inflamação de materiais inflamáveis devido a faíscas originadas por campos induzidos ou por correntes de contacto;
- Correntes de contacto.

3.2.1 Campos Eletromagnéticos Estáticos (0 Hz)

Um campo estático não varia ao longo do tempo. A corrente contínua (DC) é uma corrente elétrica que flui numa única direção. Em qualquer aparelho alimentado por bateria a corrente flui da bateria para o equipamento e depois volta para a bateria. Isto cria um campo magnético estático. O campo magnético da Terra é também um campo estático.

O efeito dominante no corpo humano devido aos campos estáticos são forças resultantes sobre os elementos ferromagnéticos (i.é, implantes metálicos) ou movimento de cargas (i.é iões do sangue).

Implantes médicos passivos e ativos, tais como *pacemakers* podem ser suscetíveis aos campos estáticos e aos CEM produzidos pelos equipamentos de soldadura. Este assunto é importante para os soldadores que utilizam tais implantes e deve ser tratado com cuidado. Uma das dificuldades ao lidar com implantes médicos é a suscetibilidade destes dispositivos, que varia consideravelmente para diferentes produtos, mesmo para configurações diferentes do mesmo modelo de implante. Este assunto está fora do âmbito deste trabalho, pelo que não será aqui considerado.

Tabela 28 – Efeitos devidos à exposição a campos estáticos

Tipo de efeitos	Efeitos	Intensidade
Diretos	Vertigens, náuseas e fosfenos	$B > 4 \text{ T}$
Indiretos	Deslocamento ou abrandamentos dos implantes passivos ferromagnéticos	$B > 3 \text{ mT}$
	Disfunção e/ou paragem de dispositivos de implantes médicos ativos (exemplos: estimuladores cardíacos, bombas de insulina e próteses auditivas)	$B > 0,5 \text{ mT}$

(Fonte: Demaret, 2013 (INRS))

3.2.2 Campos Eletromagnéticos de Baixa Frequência (1 Hz a 100 kHz)

A exposição a campos elétricos e magnéticos de baixa frequência normalmente não provoca efeitos adversos sobre o organismo. A absorção de energia é desprezável e não se verifica qualquer aumento mensurável de temperatura do corpo. No entanto, exposição a

campos magnéticos superiores a cerca de 100 kHz pode conduzir a uma significativa absorção de energia e ao aumento de temperatura.

Os campos elétricos de baixas frequências influenciam a distribuição de cargas elétricas na superfície dos tecidos condutores e causam um fluxo de corrente elétrica através do corpo para a terra (Figura 23).

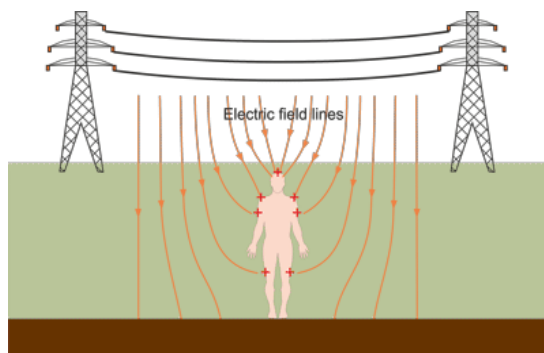


Figura 23 – Acumulação de cargas na superfície do corpo devido à exposição a campos elétricos de linhas de transmissão.

(Fonte: HPA, 2012)

Campos magnéticos de baixas frequências induzem correntes circulantes dentro do corpo humano (Figura 24). A intensidade dessas correntes induzidas depende da intensidade do campo magnético externo, do comprimento do percurso através do qual a corrente flui e da frequência. Quando suficientemente intensas essas correntes podem causar o estímulo de nervos e músculos, ou afetar outros processos biológicos.

Os campos elétricos e magnéticos induzem tensões e correntes no corpo contudo, mesmo considerando o indivíduo exposto imediatamente por baixo de uma linha de transmissão de alta tensão, as correntes induzidas são muito pequenas comparativamente com os limites para a produção de choques ou outros efeitos elétricos.

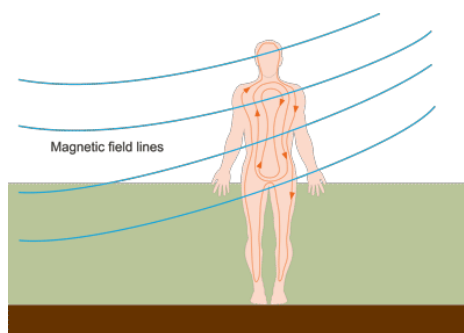


Figura 24 – Fluxo de correntes elétricas circulando em todo o corpo, devido à exposição a campos magnéticos de linhas de transmissão.

(Fonte: HPA, 2012)

Os campos magnéticos podem causar pequenas oscilações visuais, chamados fosfenos, ou até mesmo estimular os nervos e músculos (Figura 25), embora esses efeitos ocorram habitualmente para níveis muito superiores aos encontrados normalmente em edifícios e ou residências.

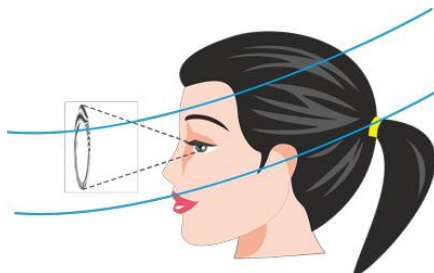


Figura 25 – Sensações visuais conhecidas como fosfenos podem ser produzidas em campos magnéticos fortes.

(Fonte: HPA, 2012)

A gama de baixa frequência varia entre 1 Hz e 100 kHz. Acima dos 100 kHz, têm de ser considerados efeitos como o aquecimento (ICNIRP, 2010). Contudo, na gama de frequências entre 100 kHz e 10 MHz (aproximadamente), deverá ser tida em conta a proteção contra os efeitos das baixas frequências no sistema nervoso e a proteção contra os efeitos das altas frequências, dependendo das condições de exposição.

A Tabela 29 ilustra os principais efeitos indiretos sobre o organismo humano para as gamas de corrente indicadas.

Tabela 29 – Efeitos indiretos (em crianças, homens e mulheres) causados por correntes limite a 50/60 Hz, 1 kHz e 100 kHz

Efeitos indiretos	Corrente limite [mA] na frequência		
	50/60 Hz	1 kHz	100 kHz
Percepção ao toque	0,2-0,4	0,4-0,8	25-40
Dor ao contacto com o dedo	0,9-1,8	1,6-3,3	33-55
Choque doloroso / Limiar de não largar	8-16	12-24	112-224
Choque severo / dificuldade em respirar	12-23	21-41	160-320

(Fonte: ICNIRP, 1998)

Ao contrário do que acontece com os campos elétricos, o ser humano não é muito sensível aos campos magnéticos. Visto o corpo ser condutor, quando submetido a campos magnéticos, são gerados nele correntes de indução de fraca intensidade que não são perceptíveis, pelo menos nos níveis de exposição habituais.

No caso de exposição a campos magnéticos de grande intensidade, o ser humano tem percepção imediata mas, tal como no caso dos campos elétricos, esta percepção varia de pessoa para pessoa. As observações registadas pela OMS são que de 1 a 10 mA/m² de corrente induzida por campos magnéticos entre os 0,5 mT e os 5 mT a 50/60 Hz, ou entre 10 a 100 mT a 3 Hz, existem pequenos efeitos biológicos. De 10 a 100 mA/m² de corrente

induzida por campos magnéticos entre os 5 mT e os 50 mT a 50/60 Hz, ou entre os 100 a 1000 mT a 3 Hz existem efeitos bem estabelecidos sobre o sistema nervoso e a visão. Estão estudadas algumas aplicações terapêuticas de reparação de fraturas ósseas baseadas na indução magnética. De 100 a 1000 mA/m² de corrente induzida para campos magnéticos superiores a 500 mT a 50/60 Hz, ou superiores a 10 T a 3 Hz surgem episódios de fibrilação ventricular e de sístoles, ou seja a ocorrência de efeitos agudos (Tabela 30).

Tabela 30 – Efeitos da corrente induzida no corpo à frequência de 50 Hz

Densidade de corrente induzida, J	Efeitos
1 – 10 mA/m ²	Efeitos mínimos, aleatórios e não reproduzíveis
10 – 100 mA/m ²	Efeitos mínimos, reversíveis ao nível da visão e do sistema nervoso.
100 – 1000 mA/m ²	Efeitos sobre os tecidos excitáveis, possíveis efeitos sobre a saúde
> 1000 mA/m ²	Risco de fibrilação ventricular

(Fonte: Demaret, 2013 (INRS))

De acordo com Floderus et al. (1996), há consideráveis variações na exposição, dependendo das tarefas e do tipo de equipamento de soldadura. Em geral, os soldadores por resistência elétrica estão expostos a níveis muito elevados de campos magnéticos de frequência extremamente baixa (CM-FEB / ELF-MF) estimando-se um valor médio diário de 1,12 μ T. O processo pode envolver correntes elétricas de 1.000-100.000 A, produzindo exposições de pico na ordem do militesla. De referir que no caso da soldadura por resistência, a exposição a agentes potencialmente cancerígenos é menor quando comparada com a soldadura por arco (fumos de soldadura).

Risco Relativo – *relação entre a probabilidade de um evento ocorrer no grupo exposto contra a ocorrência deste evento no grupo de controlo. Assim, a falta de aumento do risco implica um risco relativo igual a 1* (ICNIRP, 2010).

N. Hakansson et al (2002), realizaram um estudo na Suécia, com o objetivo de investigar a incidência de cancro em trabalhadores expostos a elevados níveis de campos magnéticos de frequência extremamente baixa (CM-FEB / ELF-MF). Verificaram que no grupo de exposição muito elevada (>0,530 μ T), os homens apresentaram um aumento na incidência de tumores do rim (RR=1,4), da glândula pituitária (RR=2,4) e fígado (RR=1,6), enquanto que as mulheres apresentaram um aumento da incidência de astrocitoma I-IV (RR=3).

Mohammad Nadeem, et al. (2004), realizaram um estudo na Suécia com o objetivo de investigar a densidade de corrente induzida no corpo humano exposto a campos magnéticos sinusoidais de 50 Hz, produzidos por uma máquina de soldar por pontos típica, e determinar também se as restrições básicas eram excedidas. A medição pontual do campo magnético próximo da máquina (na posição do operador) revelou que a densidade do fluxo magnético (1-4mT) estava acima dos níveis de referência (500 μ T a 50 Hz) do ICNIRP (1998). A experiência foi efetuada com máquina vulgar de soldadura por pontos, utilizada em soldaduras horizontais, cuja corrente nos elétrodos de soldadura era de cerca de 11 kA,

tendo-se verificado uma densidade de fluxo magnético (rms) de 3,7 mT e 1,1 mT, a 26 cm e 42 cm de distância dos elétrodos, respetivamente. De notar que a variação do campo magnético com o tempo foi registada com osciloscópio, tendo-se verificado uma onda praticamente sinusoidal com uma frequência de 50 Hz. Para verificar se as restrições básicas foram ultrapassadas, calcularam as correntes induzidas num modelo humano 3D completo. Verificou-se que numa posição do operador de 34 cm de distância afastado dos elétrodos da máquina a densidade de corrente máxima induzida ($1,5 \text{ mA/m}^2$ nos braços, 1 mA/m^2 nas mãos, 8 mA/m^2 no tronco) era inferior às restrições básicas (10 mA/m^2) do ICNIRP (1998). Contudo, se o operador estiver junto dos elétrodos da máquina, isto é, a 5 cm de distância e 45° inclinado para fora ($2,5 \text{ mA/m}^2$ nos braços, 2 mA/m^2 nas mãos, 14 mA/m^2 no tronco), a restrição básica é excedida no tronco e pernas. Por outro lado, o campo magnético espacial médio para o corpo inteiro foi de $30 \text{ } \mu\text{T}$ e $87 \text{ } \mu\text{T}$ a 34 cm e 5 cm dos elétrodos da máquina respetivamente, o que está manifestamente abaixo do nível de referência ($500 \text{ } \mu\text{T}$ a 50HZ). Assim, ainda que o valor médio do campo magnético esteja bem abaixo do nível de referência, a restrição básica não é completamente cumprida. Isto demonstra que as conclusões relativas ao cumprimento das restrições básicas, a partir dos valores médios do campo magnético, devem ser retiradas com muito cuidado no caso de campos magnéticos não homogéneos.

N. Hakansson et al. (2005), realizaram um estudo na Suécia, com o objetivo de analisar o risco de tumores das glândulas endócrinas de soldadores em processos de soldadura por arco e resistência, enquanto fontes de exposição a campos magnéticos de frequência extremamente baixa (FEB). Concluíram que a soldadura por arco produz campos magnéticos de FEB de algumas centenas de μT esla, e a soldadura por resistência pode produzir intensidades do campo magnético mais elevadas. Tendo por base medições efetuadas em 13 soldadores selecionados aleatoriamente obtiveram um valor médio de $1,90 \text{ } \mu\text{T}$ e um valor máximo de $142 \text{ } \mu\text{T}$, o que revela uma exposição com um grande contraste. Este estudo revelou um aumento em duas vezes do risco de tumores das glândulas endócrinas dos trabalhadores expostos a soldadura por arco ou resistência. Para os sub-tipos de tumores da glândula endócrina (glândulas supra-renais, glândula pituitária e glândula paratiroide), observou-se o seguinte: aumento do risco de três a quatro vezes para tumores das glândulas supra-renais e paratiroide nos soldadores por arco elétrico. Para a soldadura por resistência foi estimado o risco relativo de 2,6 para as glândulas da paratiroide. Não se obtiveram resultados conclusivos quanto aos tumores da glândula pituitária.

3.2.3 Campos Eletromagnéticos de alta frequência (100 kHz a 300 GHz)

Para frequências superiores a 100 kHz a energia de um campo eletromagnético é parcialmente absorvida nos tecidos do corpo, o que pode conduzir a um efeito dielétrico de corpo inteiro ou a aquecimento localizado.

Os efeitos térmicos são os únicos efeitos experimentados e validados pela comunidade científica.

Relativamente à absorção de energia pelo corpo humano, os campos eletromagnéticos podem dividir-se em quatro intervalos (Durney et al. 1985):

- 100 kHz – 20 MHz: a absorção de energia no tronco diminui rapidamente com o decréscimo da frequência; a absorção significativa de energia pode ocorrer no pescoço e pernas;
- 20 – 300 MHz: absorção de energia relativamente elevada pode ocorrer em todo o corpo, podendo os valores ainda ser mais elevados se se considerar ressonância parcial do corpo (ex.: cabeça);
- 300 MHz – 10 GHz: ocorre absorção de energia não-uniforme local significativa;
- 10 GHz – 300 GHz: a absorção de energia ocorre principalmente na superfície corporal.

Vários estudos com voluntários em repouso demonstraram que uma exposição de aproximadamente 30 minutos a CEM produz uma SAR de corpo inteiro entre 1 e 4 W.kg⁻¹, provocando um aumento de temperatura corporal inferior a 1°C (ICNIRP, 1998). Estudos em animais indicam comportamento idêntico.

Exposições a campos mais intensos, produzindo uma SAR superior a 4 W.kg⁻¹, podem ultrapassar a capacidade de termorregulação do corpo e produzir níveis de aquecimento prejudiciais nos tecidos. Muitos estudos de laboratório com roedores e modelos de primatas não humanos têm demonstrado que os danos nos tecidos resultantes quer do aquecimento parcial quer de corpo inteiro provocam um aumento de temperatura superior a 1-2°C. A sensibilidade aos danos térmicos dos vários tipos de tecido biológico é muito variável, contudo o limiar dos efeitos irreversíveis mesmo nos tecidos mais sensíveis é superior a 4 W.kg⁻¹ em condições ambientais normais. Estes dados constituem a base para a restrição da exposição ocupacional de 4 W.kg⁻¹, o que fornece uma grande margem de segurança para outras condicionantes, tais como a elevada temperatura ambiente, humidade ou nível de atividade física (ICNIRP, 1998).

Estudos epidemiológicos em trabalhadores e público em geral demonstram não haver efeitos adversos na reprodução humana nem aumento do risco de cancro para níveis de exposição individual típicos, sendo consistentes com os resultados de estudos laboratoriais (ICNIRP, 1998).

4 OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Objetivos da Dissertação

Os principais objetivos da dissertação são:

- Fornecer informação sobre o nível de exposição a CEM em processos de soldadura por arco elétrico e por resistência;
- Situar os valores obtidos, através de medições práticas, no contexto da Diretiva 2013/35/CE;
- Face aos valores obtidos, através das medições práticas, introduzir, se necessário medidas de prevenção que garantam o cumprimento dos VLE previstos na Diretiva 2013/35/CE;
- Constituir uma base de reflexão crítica para que os empregadores possam garantir aos trabalhadores que a exposição aos CEM é avaliada, minimizada e está abaixo dos níveis de exposição definidos na Diretiva 2013/35/CE, de 26 de junho.

4.2 Materiais e Métodos

Conforme referido no Capítulo 2.1, o trabalho prático foi elaborado em três empresas, a Facosta, a Cancé e a Caetano Baviera (nesta última em duas unidades de produção semelhante).

De referir que, a escolha destas empresas obedeceu a alguns critérios, nomeadamente:

- Interesse e disponibilidade demonstrada pela direção destas empresas em participar no estudo;
- Elevada representatividade dos processos e parâmetros de soldadura utilizados por estas empresas face aos setores a que pertencem e à realidade nacional;
- Bom conhecimento do funcionamento destas organizações;
- Utilização por parte destas empresas dos processos de soldadura objeto de estudo.

Atendendo aos processos em estudo, foram efetuadas medições nas máquinas de soldar MIG/MAG na Facosta e na Cancé e a máquinas de soldar por resistência (máquina de soldar por pontos) na Baviera.

Assim, em cada uma das organizações foram utilizadas as seguintes máquinas:

- Facosta – ESAB MIG C280 – as medições foram sempre executadas na mesma máquina (trata-se de uma de duas máquinas exatamente iguais que a empresa dispõe); as peças a

soldar são geralmente de pequena dimensão e baixa espessura (1+1 mm) cortantes para a indústria do calçado) em aço de grande resistência;

- Cancé – ESAB MIG 5004i – as medições ocorreram em três máquinas do mesmo modelo, de entre mais de dez que esta empresa possui; As peças a soldar geralmente são de grande dimensão e de elevada espessura (10 mm + 10 mm);

- Baviera – Blackhawk/Compuspot WEL 750 – as medições ocorreram nas unidades de Gaia e Porto, contudo em duas máquinas exatamente iguais. De referir que foram efetuadas medições com a máquina a operar no modo monoponto e com o modo “habitual” – pinça em C. As peças a soldar podem ser diversas, incluindo-se os aços de alta resistência, com 2, 3 e eventualmente 4 peças a soldar.

O objetivo principal das medições é quantificar a exposição aos CEM dos soldadores nas operações de soldadura. Para tal, as medições devem ser efetuadas na posição do soldador, sempre que possível.

A Norma EN 50444:2008, recomenda que as medições sejam efetuadas a 50 cm de distância da máquina de soldar, dado que esta é a posição mais próxima que se recomenda para o operador durante a soldadura.

Para além disso, a EN 50444:2008, recomenda também que se efetuem medições do campo magnético à distância de 1 e 2 m das superfícies da máquina. As medições devem ser efetuadas num plano horizontal nas 4 direções, uma perpendicular ao painel frontal da máquina e as restantes perpendicularmente aos restantes painéis do equipamento (distanciadas entre si de 90° em torno da máquina).

Para os cabos de soldadura, é expectável que a maior intensidade do campo magnético ocorra junto a estes ou à tocha. A norma EN 50444:2008, recomenda que a medição para a avaliação da máxima exposição devido aos cabos seja efetuada no centro de um quarto de círculo com um raio (r) de 20 cm. Para além disso, devem ser efetuadas medições a 1 e 2 m dos cabos.

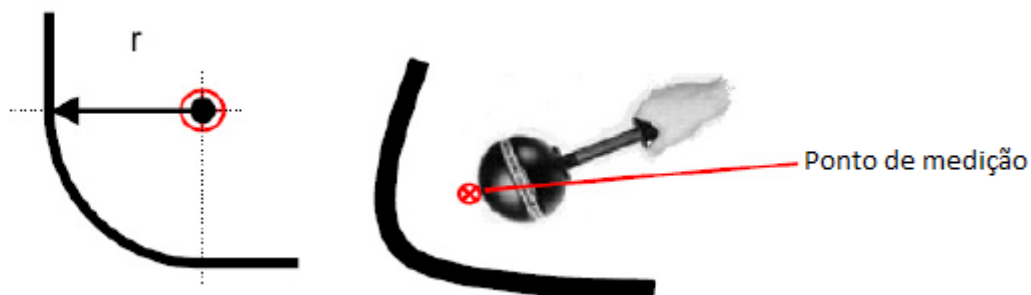


Figura 26 – Posicionamento do equipamento de medição relativamente aos cabos de soldadura.

(Fonte: EN 50444:2008)

Deste modo, foram realizadas diversas medições na posição do operador – junto às mãos/tocha, cabeça, cintura e peito, bem como junto à máquina e cabos de soldadura. Relativamente ao equipamento e cabos de soldadura também foram recolhidos valores a diferentes distâncias: 0 cm, 20 cm, 50 cm, 1 m e 2 m.

De referir que para o caso da tocha as medições, foram efetuadas na lateral destas (a 90°) e no plano à altura do ponto de soldadura (no caso da soldadura por resistência), conforme se tinha evidenciado na bibliografia (Herrault, 2006) por ser esta a posição mais desfavorável para a exposição junto à tocha. Por outro lado o tempo de soldadura no processo por resistência foi de 300 milissegundos, superior ao mínimo (100 milissegundos) recomendado por Herrault, 2006.

Todas as medições foram efetuadas nas condições normais de uso e de acordo com os responsáveis de cada uma das empresas, os tipos de materiais e parâmetros de soldadura utilizados durante as medições são os usados habitualmente e com mais frequência.



Figura 27 - Máquina 1 – ESAB MIG C280.



Figura 28 – Máquina 2 – ESAB MIG 5004i.

A Tabela 31 apresenta as principais características técnicas das máquinas de soldar pelo processo MIG/MAG objeto de estudo.

Tabela 31 – Máquinas de soldadura por arco elétrico – MIG/MAG objeto da medição. Principais características técnicas

	Facosta	Cancé
Marca	ESAB	ESAB
Modelo	MIG C280	MIG 5004i
Alimentação	400 V+T+N (50 Hz)	400 V+T+N (50 Hz)
Gama de regulação [A]	[30 – 280 A]	[20 – 500 A]
Velocidade de regulação do fio [m.min⁻¹]	1,9 – 19 m.min ⁻¹	0,8 – 25 m.min ⁻¹
Comprimento do cabo da tocha	3 m	5 m

A Tabela 32 apresenta os principais parâmetros de regulação que foram definidos no momento das medições, para as máquinas de soldar pelo processo MIG/MAG objeto de estudo.

Tabela 32 – Máquinas de soldadura por arco elétrico objeto da medição. Principais parâmetros de trabalho definidos no momento da medição

	Facosta	Cancé
Marca	ESAB	ESAB
Modelo	MIG C280	MIG 5004i
Diametro do fio utilizado	0,8 mm	1,2 mm
Material do fio de soldadura	G3Si1	Steel
Gás de proteção	98% Árgon+2% CO ₂	75% Árgon+25% CO ₂
Velocidade do fio	9-10 m.min ⁻¹	10-12 m.min ⁻¹
Intensidade de soldadura	Pos 5/6 (≈ 140-175 A)	≈ 265 - 285 A
Tensão de soldadura	-	≈ 26,2 – 29 V



Figura 29 – Máquina de soldar por pontos Blackhawk/CompuSpot WEL 750.

A Tabela 33 apresenta as principais características técnicas da máquina de soldar por resistência (pontos), Blackhawk/CompuSpot WEL 750 (com transformador remoto) objeto de estudo.

Tabela 33 – Máquinas de soldadura por resistência (pontos, com transformador remoto) objeto da medição. Principais características técnicas

	Baviera
Marca	Blackhawk/CompuSpot
Modelo	WEL 750
Alimentação	400 V+T+N (50 Hz)
Gama de regulação da Intensidade [A]	[50 – 12.000 A]
Força máxima a 8 bar com a pinça em C	550 daN
Comprimento do cabo de soldadura (entre a máquina e a tocha)	2,5 m
Arrefecimento	Ar ou 50% etilenoglicol + 50% água

A Tabela 34 apresenta os principais parâmetros de regulação que foram definidos no momento das medições, para a máquina de soldar por pontos.

Tabela 34 – Máquinas de soldadura por resistência Blackhawk/CompuSpot WEL 750, objeto da medição.
Principais parâmetros de regulação: 1. Soldadura Monoponto; 2. Soldadura com Pinça em C

	1. Monoponto	2. Pinça em C
Marca	Blackhawk/CompuSpot	Blackhawk/CompuSpot
Modelo	WEL 750	WEL 750
Intensidade [A]	8600 A	8100 A
Tempo de soldadura [ms]	70	300
Força de soldadura com a pinça em C (pneumática)	-	420 daN
Arrefecimento	Ar	50% etilenoglicol + 50% água

As medições foram efetuadas em todas as instalações com temperatura variável entre 20 °C e 25 °C e humidade relativa entre 50% e 60%.

Devem ser medidos, na gama de frequências relevantes para cada um dos processos de soldadura, os valores de:

- Densidade do fluxo magnético, B [T];
- Intensidade do campo elétrico, E [$V.m^{-1}$].

As tensões de trabalho utilizadas nos processos de soldadura (arco elétrico e resistência) são baixas comparadas com os níveis de tensão capazes de causar efeitos biológicos no interior do corpo humano. Por conseguinte, os estudos relativos aos CEM em processos de soldadura estão normalmente confinados à avaliação dos campos magnéticos e seus efeitos.

O corpo do soldador está exposto a campos magnéticos gerados pela corrente de soldadura que flui através dos cabos para a tocha, pela própria tocha (soldadura por resistência) e no interior do equipamento de soldadura. À medida que a corrente de soldadura é maior e consequentemente as forças de campo resultantes, o campo magnético é a grandeza predominante e, como tal a mais importante, e deste modo deve ser considerada na avaliação da exposição a CEM em processos de soldadura.

A distribuição espacial do campo depende do tipo de fonte e da distância à fonte. Embora muitas vezes se assuma uma distribuição de campo uniforme na avaliação da exposição a CEM em processos de soldadura, tal não se verifica na realidade.

4.3 Equipamento de medição

As medições da intensidade do campo magnético ou da densidade do fluxo magnético são uma forma rápida e simples de avaliar a exposição a CEM nos locais de trabalho com soldadura relativamente aos níveis de ação (valores de referência), em que é aceitável a abordagem ao “pior caso” (*worst scenario case*). Devido aos campos de múltiplas frequências, geralmente produzidos pelas correntes típicas de soldadura, e ao vetor característico do campo (isto é, a amplitude do resultado da medição depende da orientação do instrumento de medida mono-axial) a sonda de campo utilizada para a avaliação da

exposição a CEM variáveis no tempo nas aplicações de soldadura (por resistência e por arco elétrico) deve idealmente cumprir os seguintes requisitos:

- Gama de frequência e magnitude ampla para cobrir adequadamente todas as componentes de campos pertinentes, isto é, uma largura de banda desde os 0 Hz (CC) a cerca de 100 kHz e a densidade do fluxo magnético até 100 mT;
- Características isotrópicas da sonda utilizada na medição por forma a que a orientação da sonda não influencie os resultados;
- Cálculo numérico 3D interno e ponderação dos valores medidos. Existem no mercado equipamentos que disponibilizam ainda os resultados em percentagem dos valores de referência aplicáveis.

Para a realização das medições foi utilizado o seguinte equipamento:

Marca: AARONIA AG

Modelo: Spectran NF-5035

Principais características técnicas:

- Gama de frequências: 1 Hz a 30 MHz;
- Campo elétrico – gama de níveis: 0,1 V/m a 20 kV/m;
- Campo magnético – gama de níveis: 0,1 nT a 2 mT;
- Precisão da medição: $\pm 3\%$;
- Menor intervalo de amostragem: 10 ms;
- Sensor para medição isotrópica (3D) de campos magnéticos variáveis no tempo e campos estáticos;
- Input analógico de 200 nV a 2 V;
- Datalogger: memória interna de 64 k (capacidade para cerca de 100 aquisições);
- Cálculo dos limites de exposição de acordo com a DIN/VDE 0848 e ICNIRP;
- Gama de acordo com o ICNIRP;
- Controlo em tempo real via USB.



Figura 30 - Equipamento utilizado nas medições Spectran NF-5035.

Foi também utilizado o software MCS da Aaronia (*MCS Real Time Spectrum analyzer software*) que permite, através do computador, gravar em tempo real a exposição a CEM e aceder a qualquer momento a essas gravações e deste modo efetuar análises à posterior mais detalhadas.

Para cada uma das máquinas, efetuou-se inicialmente a medição junto aos cabos, por se suspeitar ser esta uma das posições em que os campos são mais elevados. Primeiro fez-se a medição do campo magnético estático e, em seguida, fizeram-se medições em diversas gamas da banda de medição de frequências do equipamento, respeitando sempre as indicações do fabricante, nomeadamente:

- RBW (*bandwidth* – largura de banda, ou seja o filtro) – deve ser pelo menos 10 vezes menor do que o SPAN ($\text{SPAN} = F_{\text{HIGH}} - F_{\text{LOW}}$, isto é, o SPAN é a diferença entre a frequência mais alta e a frequência mais baixa de uma determinada largura de banda);
- $\text{SPAN} < 20 \times \text{RBW}$;
- $\text{SPAN} < F_{\text{LOW}} - 0$.

As medições foram sempre executadas com a sonda isotrópica (3D) ativa.

As medições foram efetuadas com o NF-5035 ligado através do cabo USB ao PC, sendo os dados recolhidos e gravados através do software MCS da Aaronia.

A duração de cada medição variou em função da tarefa de soldadura, contudo foi sempre superior a 1 minuto.

5 RESULTADOS

5.1 Resultados das medições

As medições foram efetuadas em cada uma das 3 empresas durante 5 turnos de 8 horas. Para além disso, despendeu-se de 1 turno, por cada empresa, para analisar o trabalho, observar os soldadores e processos de soldadura, verificar o tipo de peças a soldar e perceber o tempo de duração das tarefas de soldadura. De referir que no caso da Facosta, dos 2 soldadores existentes um despende diariamente cerca de 4 horas em processos de soldadura e durante o restante tempo executa outras tarefas. Este trabalhador já é soldador à cerca de 18 anos, dos quais 6 na Facosta. O outro soldador em média, despende uma hora diária em operações de soldadura, tendo iniciado a sua atividade profissional nesta empresa e enquanto soldador à cerca de 10 anos. Os 31 soldadores da Cancé soldam, em média, durante 6 horas por dia, utilizando apenas um tipo de máquina (ESAB MIG 5004i), sendo o resto do tempo distribuído por intervalos entre tarefas de soldadura, planeamento do trabalho, limpeza da peça e arrumação do local de trabalho. Note-se que destes 31, 20 são soldadores que iniciaram à 10 anos a sua vida profissional. Relativamente aos restantes 11, 3 iniciaram à 4 anos e os outros já eram soldadores aquando da sua admissão na empresa, desconhecendo-se exatamente o seu percurso enquanto soldadores. No caso da Caetano Baviera, quer a unidade do Porto quer a de Vila Nova de Gaia têm 4 chapeiros/soldadores que em média executam tarefas de soldadura durante 1 hora por dia, distribuídas aproximadamente do seguinte modo: 10 minutos em operações de soldadura por pontos (monoponto e pinça em “C”), 10 minutos com máquinas de soldar MIG/MAG, 10 minutos com soldadura oxiacetilénica e cerca de 30 minutos com o vulgar tira mossas (soldadura por resistência, tipo monoponto, contudo com baixa intensidade de corrente). Destes, apenas se sabe que 3 deles iniciaram a sua atividade profissional e de soldadores à cerca de 15 anos, desconhecendo-se o padrão de exposição ao longo desses anos.

Na totalidade, realizaram-se 28 medições na Facosta (Tabela B.1), 61 na Cancé (Tabela B.2), 32 na Caetano Baviera utilizando a máquina de soldar por pontos com pinça em “C” (Tabela B.3) e 9 na versão monoponto (Tabela B.4). As Tabelas 35, Tabela 36, Tabela 37 e Tabela 38 apresentam uma síntese dos valores mais relevantes dessas medições.

Para a avaliação da exposição dos soldadores aos CEM devem utilizar-se os níveis estabelecidos para a exposição ocupacional, constantes da Diretiva 2013/35/UE e seguir os procedimentos da norma EN 50499:2008. Os níveis estabelecidos para o público em geral devem ser aplicados para avaliar a exposição de pessoas em zonas próximas com acesso público, tais como escritórios ou trabalho em espaços públicos. Nas situações práticas em estudo estes locais de trabalho são interditos ao público.

Assim, deve verificar-se em primeira análise, o cumprimento dos níveis de ação (níveis de referência ocupacionais) e, caso não sejam cumpridos devem ser tomadas medidas, nomeadamente respeitadas as distâncias mínimas do corpo do soldador à tocha e cabos. Se tal não for possível deve verificar-se através de cálculo analítico e/ou simulação com

recurso a *software* já desenvolvido para o efeito (exemplo: Flux 3D da CEDRAT; Dughiero, 2010).

5.1.1 Processo de soldadura MIG/MAG

Foram realizadas várias medições em diferentes posições, nomeadamente junto ao operador – cabeça, peito e cintura, bem como medições junto à máquina e cabos.

As medições foram efetuadas em locais de trabalho distintos e em diferentes modelos de máquinas de soldadura.

Tabela 35 – Resultados das medições (B, H e E) efetuadas na máquina – ESAB MIG C280

Máquina: ESAB MIG C280, regulada na gama: [140 - 175A]; fio de 0,8 mm; 9-10 m/min; 98% Árgon + 2% CO2		Distância											
		a 1 cm de			a 20 cm de		a 50 cm de		a 1 m de		a 2m de		
Posição de medição	Freq. [Hz]	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]	B [μT]	H [A/m]	B [μT]	H [A/m]	B [μT]	H [A/m]	B [μT]	H [A/m]	
Cabos de soldadura	0	760,3	605,0	-	463,9	369,1	141,0	112,2	79,2	63,0	75,6	60,2	
	49	-	-	835,1	-	-	-	-	-	-	-	-	
	53	225,7	179,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	98	95,0	75,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	108,8	-	-	60,2	-	-	-	-	-	-	-	-	
	204,4	48,6	38,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	206,8	-	-	221,1	-	-	-	-	-	-	-	-	
Máq. (laterais)	0	108,5	86,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Máq. (lateral com cabos)	0	496,0	394,7	-	477,9	380,3	71,8	57,1	62,3	49,6	-	-	
Tocha	0	480,0	382,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cabeça	0	322,3	256,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Peito/Cintura	0	231,0	183,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Mesa magnética	0	773,2	615,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

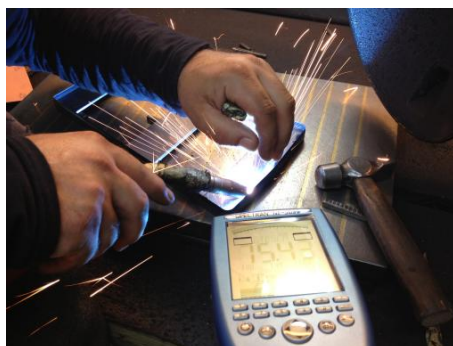


Figura 31 – Ponto de medição junto às mãos/tocha (Facosta).



Figura 32 – Ponto de medição junto às mãos/tocha (Facosta).

Tabela 36 – Resultados da medição (B, H e E) efetuada na máquina ESAB MIG 5004i

Máquina: ESAB MIG 5004i, regulada na gama: [26,2 V/265 A - 29 V/285A]; fio de 1,2 mm; 10-12 m/min; 75% Argon + 25% CO2		Distância											
		a 1 cm de			a 20 cm de			a 50 cm de		a 1 m de		a 2m de	
Posição de medição	Freq. [Hz]	B [μ T]	H [A/m]	E [V/m]	B [μ T]	H [A/m]	E [V/m]	B [μ T]	H [A/m]	B [μ T]	H [A/m]	B [μ T]	H [A/m]
Cabos de soldadura	0	761,7	606,2	-	185,0	147,2	-	105,0	83,6	76,5	60,9	66,1	52,6
	45	133,0	105,8	-	-	-	-	70,9	56,4	-	-	-	-
	47,8	-	-	273,2	-	-	-	70,7	56,3	-	-	-	-
	49,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50,2	111,1	88,4	-	-	-	714,9	-	-	-	-	-	-
	51,4	-	-	828,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	53,4	116,3	92,5	108,3	77,9	62,0	-	-	-	-	-	-	-
	56,2	104,4	83,1	95,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	1,6	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	98	6,4	5,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	132	60,0	47,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	154	49,3	39,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	238	-	-	185,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	242,8	-	-	165,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	281,8	26,2	20,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máquina (laterais)	0	214,9	171,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máq. (lateral com cabos)	0	485,0	386,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tocha	0	635,5	505,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	53,4	82,2	65,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	173	-	-	39,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cabeça	0	105,0	83,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	137,2	-	-	5,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peito/Cintura	0	495,0	394,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

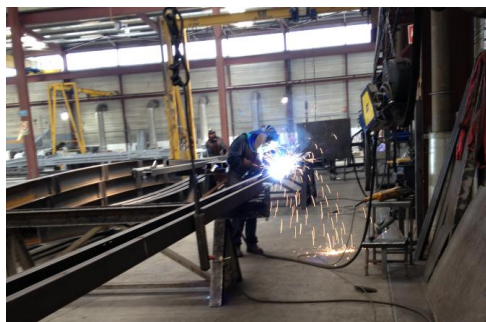


Figura 33 – Pormenor do local de trabalho, objeto da medição (Cancé).



Figura 34 – Pormenor da posição de trabalho-deitado-cabos junto ao corpo (Cancé).



Figura 35–Ponto de medição junto à cabeça (Cancé).



Figura 36–Ponto de medição junto aos cabos (Cancé).

Pela análise das medições verifica-se que o campo magnético mais elevado ocorreu, para as duas situações anteriores, junto aos cabos para 0 Hz (761,7 μT), seguindo-se junto à tocha, junto à máquina (do lado dos cabos) e cabeça. De acordo com a Diretiva 2013/35/UE, os VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais e s efeitos na saúde, para a densidade do fluxo magnético externo (B_0) não são ultrapassados (Tabela 3). Refira-se contudo, que os níveis de ação para densidades do fluxo magnético de campos magnéticos estáticos, $NA(B_0)$ (Tabela 9), relativos à interferência em implantes médicos ativos (por exemplo, estimuladores cardíacos), são em ambos os casos ultrapassados para as medições junto aos cabos. Ainda que os campos predominem aos 0 Hz, constata-se que os NA não são ultrapassados para as outras frequências, quer para os campos magnéticos quer para os campos elétricos (Tabela 6 e Tabela 7). Salienta-se o facto do campo magnético estático obtido para a mesa magnética (apenas) ser da mesma ordem de grandeza do campo verificado junto dos cabos.

5.1.2 Processo de soldadura por resistência

Foram realizadas várias medições em diferentes posições, nomeadamente junto ao operador – cabeça, peito e cintura, bem como medições junto à máquina e cabos.

A máquina de soldadura utilizada é a que consta da Figura 29.

Tabela 37 – Resultados da medição (B, H e E) efetuada na Máquina de soldar por pontos Blackhawk/CompuSpot WEL 750, com pinça em C

Máquina: WEL 750, regulada na gama: [8100 A; 300 ms; 67%]; 400 daN		Distância					
		a 1 cm de			a 20 cm de		
Posição de medição	Frequência [Hz]	B [μ T]	H [A/m]	E [V/m]	B [μ T]	H [A/m]	E [V/m]
Cabos de soldadura	0	646,8	514,7	-	-	-	-
	53,8	95,5	76,0	-	-	-	-
	1004	1,4	1,1	-	-	-	-
	1992	8,0	6,3	88,3	-	-	-
Máquina (laterais)	0	190,0	151,2	-	-	-	-
	53,8	115,7	92,1	-	-	-	-
	968	10,4	8,3	-	3,2	2,6	-
	1222	-	-	14,8	-	-	-
Máquina (lateral com cabos)	0	591,0	470,3	-	-	-	-
	1992	-	-	30,1	-	-	-
Tocha	0	590,4	469,8	-	-	-	-
	49,5	2,6	2,0	-	-	-	-
	50,6	-	-	278,1	-	-	-
	53,8	111,2	88,5	-	-	-	-
	54,2	-	-	140,9	-	-	-
	1200	-	-	23,1	-	-	-
	2014	6,9	5,5	-	-	-	-
Cabeça	0	95,0	76,4	-	-	-	-
Peito/Cintura	53,8	108,0	86,9	-	-	-	-

Tabela 38 – Resultados da medição (B e H) efetuada na Máquina de soldar por pontos Blackhawk/CompuSpot WEL 750, com soldadura monoponto

Máquina: MONOPONTO WEL 750, regulada na gama: [8600 A; 70 ms; 85%]		Distância					
		a 1 cm de		a 20 cm de		a 50 cm de	
Posição de medição	Freq. [Hz]	B [μ T]	H [A/m]	B [μ T]	H [A/m]	B [μ T]	H [A/m]
Cabos de soldadura	0	1064,5	847,1	510,0	405,8	494,5	393,5
Máquina (lateral c/ cabos)	0	237,5	189,0	-	-	-	-
Tocha	0	375,9	299,1	247,0	196,6	-	-

Pela análise das medições constata-se que o campo magnético mais elevado ocorreu, para as duas situações anteriores, junto aos cabos para 0 Hz, 1064,5 μ T para a soldadura monoponto e 646,8 μ T para a pinça em “C”. Seguiu-se junto à tocha, junto à máquina (do lado dos cabos), e cabeça. De acordo com a Diretiva 2013/35/UE, os VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais e efeitos na saúde, para a densidade do fluxo magnético externo (B_0) não são ultrapassados (Tabela 3). Refira-se contudo, que os níveis de ação para densidades do fluxo magnético de campos magnéticos estáticos, $NA(B_0)$ (Tabela 9), são ultrapassados para as medições junto aos cabos. Para o caso da soldadura monoponto só a partir dos 50 cm de afastamento aos cabos é que o $NA(B_0)$ não é ultrapassado. Ainda que os campos predominem aos 0 Hz, constata-se que os NA não são ultrapassados para as outras frequências, quer para os campos magnéticos quer para os campos elétricos (Tabela 6 e Tabela 7).



Figura 37- Pormenor do local de trabalho, objeto da medição.



Figura 38—Operação com a WEL 750.

6 DISCUSSÃO

Neste trabalho efetuou-se a avaliação da exposição aos campos eletromagnéticos junto a duas máquinas de soldar por arco elétrico e a uma de soldar por pontos, todas a operarem nas suas condições habituais de soldadura. Os resultados das medições encontram-se nas Tabela 35, Tabela 36, Tabela 37 e Tabela 38, de forma resumida, encontrando-se no Anexo B o resultado de todas as medições. De referir que no Anexo C, podem também ser analisados alguns registos, que foram gravados no momento das medições, através do equipamento NF-5035 e do software MCS.

Das medições efetuadas poderemos constatar que em todas as máquinas e para todas as condições de ensaio os níveis de ação da Diretiva 2013/35/UE, são cumpridos, com exceção para o facto dos níveis de ação para densidades do fluxo magnético de campos magnéticos estáticos serem ultrapassados, o que reforça a ideia de se limitar este tipo de atividade a pessoas que tenham implantes médicos ativos (por exemplo estimuladores cardíacos). De referir que estes níveis de ação são uma novidade comparativamente à Diretiva 2004/40/CE, agora revogada. Note-se que, em geral, esta nova Diretiva não é tão restritiva quanto à anterior, contudo, para as medições efetuadas concluímos que nas condições de trabalho ensaiadas são também cumpridos os níveis de referência do ICNIRP (1998) e os valores de ação da Diretiva 2004/40/CE, para exposições ocupacionais.

Na primeira situação, máquina ESAB Mig C280, constata-se que o campo magnético mais elevado ocorreu, junto aos cabos para 0 Hz, 760,30 μT , seguindo-se junto à máquina (do lado dos cabos), 496 μT , junto à tocha, 480 μT , e junto à cabeça, 322,30 μT , tudo isto à frequência de 0 Hz. Embora não faça parte do objetivo do presente estudo, verificou-se que os soldadores da Facosta utilizam uma mesa magnética nas operações de soldadura, por forma a facilitar o trabalho com peças de pequena dimensão mas com elevado grau de dificuldade, dado o rigor que é exigido ao produto final. De facto, o campo magnético estático registado para a mesa magnética, sem influência do processo de soldadura, foi da mesma ordem de grandeza do campo verificado junto dos cabos (773,2 μT a 0 Hz). É importante que estes trabalhadores estejam conscientes desta exposição, de modo a que possam tomar medidas tendo em vista a redução da exposição.

Na segunda situação, ESAB Mig 5004i, verificou-se que o campo magnético mais elevado ocorreu, junto aos cabos para 0 Hz, 761,70 μT , seguindo-se junto à tocha, 635,5 μT , depois junto ao peito/cintura, 495 μT . Valor idêntico (485 μT) foi encontrado junto à máquina do lado dos cabos.

Na terceira situação, máquina de soldar por resistência (com transformador remoto), com pinças em C, o valor mais elevado foi, mais uma vez obtido junto aos cabos para a frequência de 0 Hz, 646,8 μT , seguindo-se junto à máquina do lado dos cabos, 591 μT , e junto à tocha, 590,4 μT . Com esta máquina, mas utilizando o sistema monoponto, obtivemos o valor mais elevado de todas as medições – 1064,5 μT , junto aos cabos.

De referir que os resultados apresentam consistência, e a mesma tendência em todas as máquinas - os valores mais elevados são obtidos junto dos cabos, reduzindo-se acentuadamente à medida que nos vamos afastando (Figura 39), sendo que para distâncias superiores a 1 m a densidade do fluxo magnético tem já pouca expressão, conforme poderemos constatar pela análise das tabelas do Anexo B e pelos gráficos resultantes das medições e que se encontram no Anexo C. Os resultados obtidos apontam no mesmo sentido de outros autores, nomeadamente, Silny et al. (2001), Melton (2005), Herrault e Donati (2006) e Kamil (2012).

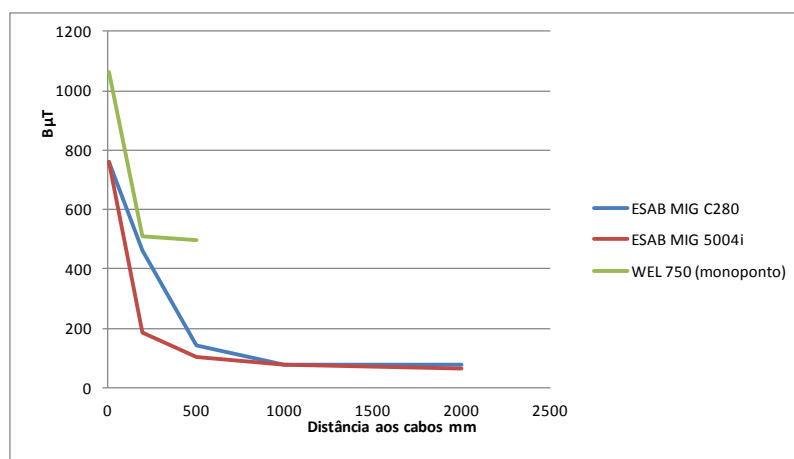


Figura 39 – Variação da densidade de fluxo magnético, B, com a distância aos cabos de soldadura.

De referir que para o caso da soldadura por resistência não foi possível obter mais resultados, nomeadamente para outras distâncias de afastamento aos cabos e tocha, pois, no local selecionado e em geral em todo o setor da reparação automóvel, a duração das tarefas é muito baixa, o que dificulta a realização de medições. De facto, enquanto que na Cancé, as operações de soldadura são constantes, isto é, estamos na presença de soldadores de dia inteiro, na Facosta, apesar de se soldar em praticamente todos os dias, as tarefas de soldadura são mais curtas e têm uma duração mais limitada. No caso da reparação e manutenção automóvel, como é caso a Caetano Baviera, as operações de soldadura são em menor número e mais limitadas na sua duração.

De acordo com a Diretiva 2013/35/UE, os VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais e aos efeitos na saúde, para a densidade do fluxo magnético externo (B_0) não são ultrapassados (Tabela 3). Refira-se contudo que, para todos os casos estudados, os níveis de ação para densidades do fluxo magnético de campos magnéticos estáticos, $NA(B_0)$ (Tabela 9), são ultrapassados para as medições junto aos cabos. Para o caso da soldadura monoponto só a partir dos 50 cm de afastamento aos cabos é que o $NA(B_0)$ não é ultrapassado. Ainda que os campos predominem aos 0 Hz, existem harmónicos a outras frequências, constatando-se contudo, que os NA não são ultrapassados para essas frequências, quer para os campos magnéticos quer para os campos eléctricos (Tabela 6 e Tabela 7).

De acordo com o ICNIRP (1998 e 2010), para a exposição simultânea a campos de frequência múltipla deve-se verificar se o somatório do contributo individual do rácio dos valores medidos (B_n) e os níveis de referência (R_n), agora NA_n (Diretiva 2013/35/UE) é inferior ou igual a 1 (Eq. 4).

$$\sum_n \frac{B_n}{AL_n} \leq 1 \quad \text{Eq. 4}$$

Para os casos em estudo, a execução deste cálculo é redundante, uma vez que não altera as conclusões já retiradas da análise individual efetuada a cada uma das frequências predominantes.

De referir, que de acordo com Man et al. (2007), a avaliação da exposição pessoal (dos soldadores) a campos magnéticos deve ter em conta o tempo de exposição ao longo da vida de cada soldador e atender a todos os processos de soldadura a que estes estão expostos. A exposição ao longo da vida (LE – *Lifelong Exposure*), é determinada por: $LE = B [\mu T] \times$ número médio de horas/dia \times número de dias/ano \times número de anos em que as tarefas de soldadura são executadas. De acordo com os dados recolhidos em cada uma das empresas quanto ao número de horas diárias individualmente gastas em operações de soldadura, percurso profissional de cada um relativamente à exposição a campos magnéticos em processos de soldadura ao longo da sua vida, as medições efetuadas e o número médio de dias de trabalho anual (220 dias), facilmente concluímos que a exposição acumulada é distinta para cada um dos grupos desses trabalhadores, pelo que será expectável que os eventuais efeitos adversos sejam reflexo disto mesmo.

Apesar dos resultados obtidos, convém recordar que para estas condições de exposição, os níveis de referência previstos na Portaria n.º 1421/2004, de 23 de novembro, e ICNIRP (1998) para o público em geral, são ultrapassados, pelo que o acesso a estas zonas deve estar limitado aos soldadores.

De referir ainda que, de acordo com informação do fabricante, a WEL 750 foi concebida tendo em conta a Diretiva 2004/40/CE e já utiliza cabos com proteção especial face aos CEM.

Conforme se constatou através das medições efetuadas, os campos eletromagnéticos decrescem rapidamente com o aumento da distância à fonte, pelo que a organização dos locais de trabalho é fundamental de modo a reduzir ao máximo a exposição dos trabalhadores. Assim, devem ser tomadas medidas para reduzir a exposição dos soldadores a CEM e, consequentemente os efeitos adversos na sua saúde. Tais medidas passam por:

- Utilizar equipamento de proteção adequado para se protegerem dos CEM (luvas, máscara, capuz, calças e avental);
- Colocar a mão que segura a tocha o mais afastado possível do corpo, de modo a reduzir o impacto da radiação no corpo;
- Afastar-se o mais possível do cabo de massa, uma vez que há passagem de corrente através dele e consequentemente é produzido um CEM à sua volta;

- Para o caso da soldadura por pontos, uma vez que, de acordo com o Herrault et Donati (2006) o tempo de soldadura não influencia a intensidade do campo magnético, em determinadas operações, é preferível reduzir a intensidade de soldadura e aumentar o tempo de soldadura, sem que isso afete a qualidade do trabalho, assegurando contudo, uma menor emissão de CEM.

Durante as medições nas organizações em causa, verificou-se que na Cancé todos os soldadores estão bastante sensibilizados para os riscos a que estão expostos e utilizam EPI (equipamentos de proteção individual), nomeadamente:

- **semi-máscara auto filtrante FFP2 NR** - isto é, é uma semi-máscara de proteção, com um filtro P2 – média retenção, protege contra sólidos e líquidos e está preparada para uma concentração máxima de 10xVLE); O NR significa que a máscara não é reutilizável;
- **máscara de soldadura da ESAB** (Orgio Tech 9-13), conforme EN 175:1997;
- **Avental**, conforme EN 340:2003 e 470-1:1995;
- **Luvas**, conforme EN 12477:2001 e 388:2003, categoria 2;
- **Protetores auriculares**: tipo abafador e/ou tampões;
- **Capuz**.



Figura 40 – Semi-máscara de proteção (FFP2 NR) utilizada pelos soldadores da Cancé.

De referir que nesta empresa não existe um sistema de extração de gases resultantes da soldadura. Facto para o qual estão sensibilizados os trabalhadores e a direção da empresa, estando esta no momento em que foram efetuadas as medições a procurar soluções no mercado para resolver este grave problema. Nas outras duas organizações, apesar de existirem EPI adequados, nem sempre os mesmos são usados. Contudo, verificou-se que, durante as medições, os trabalhadores ficaram mais sensibilizados para tal, notando-se, na parte final, uma mudança nos seus comportamentos face às medidas de proteção.

A exposição simultânea aos fumos da soldadura pode influenciar os efeitos dos CEM sobre a saúde, pelo que é recomendável que exista um bom sistema de extração de gases, em especial nos processos de soldadura por arco elétrico. Seria também recomendável a colocação de cortinas de proteção das radiações óticas, em torno dos postos de soldadura, reduzindo-se assim, a exposição a este tipo de radiações por parte de outros trabalhadores que não os soldadores.

7 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

7.1 Conclusões

Nos últimos tempos o problema dos potenciais efeitos nefastos sobre a saúde humana da exposição a campos eletromagnéticos tem tomado o interesse quer da comunidade científica quer dos media.

De facto muitos estudos foram realizados e, apesar da controvérsia destes, a IARC classificou os campos magnéticos de frequência extremamente baixa (1 Hz a 100 kHz) e os campos eletromagnéticos de radiofrequência (100 kHz a 300 GHz), como pertencendo ao grupo 2B – possivelmente cancerígeno para os humanos.

Por outro lado a União Europeia, atenta a estes fatos preparou já alguma legislação. Assim, publicou a Recomendação do Conselho n.º 1999/519/CE, de 12 julho, que estabelece um quadro de restrições básicas e de níveis de referência relativos à exposição da população a campos eletromagnéticos. Esta recomendação foi adotada por Portugal, através da Portaria n.º 1421/2004, de 23 de novembro. Para além disso, publicou também a Diretiva 2004/40/CE, de 29 de abril, recentemente revogada pela Diretiva 2013/35/UE, relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos campos eletromagnéticos, que deverá ser transposta para a legislação nacional o mais tardar até 1 de julho de 2016. Esta Diretiva deve servir de referencial para a avaliação da exposição dos trabalhadores a campos eletromagnéticos.

As medições elaboradas no âmbito deste trabalho, ainda que não tenham ultrapassado os valores de ação previstos na Diretiva 2013/35/UE, com exceção dos níveis de ação para densidades de fluxo magnético de campos magnéticos estáticos (relativos à interferência em implantes médicos ativos, por exemplo, estimuladores cardíacos), revelaram que os níveis de ação para exposição a campos magnéticos superiores a 1 Hz podem ser ultrapassados, nomeadamente em operações de soldadura que exijam uma maior intensidade da corrente elétrica.

Para além disso, em alguns ambientes industriais, as emissões eletromagnéticas podem ser maiores uma vez que utilizam vários equipamentos e processos que trabalham com elevada intensidade da corrente e em simultâneo.

Apesar de terem sido efetuadas medições em diversas posições, do ponto de vista da segurança e saúde do trabalhador a avaliação mais importante é aquela em que normalmente os valores obtidos são maiores – junto aos cabos. De facto, na prática é inevitável o contacto entre o soldador e os cabos, pelo que o cumprimento dos níveis de ação (NA) junto aos cabos assegurará a proteção do trabalhador.

Do ponto de vista do trabalhador é importante que as medições sejam efetuadas no local de trabalho, uma vez que a envolvente afeta também a exposição a CEM.

7.2 Perspetivas Futuras

A falta de conhecimento sobre os potenciais efeitos nocivos da radiação eletromagnética não ionizantes sobre a saúde humana, quer por parte dos responsáveis e gestores de empresas, quer por parte dos próprios utilizadores (soldadores) que utilizam nos seus processos de trabalho a soldadura, aliada à falta de divulgação de informação quer pelos fabricantes quer pelas entidades oficiais, contribuem para uma deficiente gestão e prevenção dos riscos dos CEM associados.

Seria muito útil para toda a indústria e demais utilizadores que os manuais de operador passassem a englobar informação sobre os níveis de exposição em diferentes posições e distâncias e para algumas das situações mais prováveis de trabalho, incluindo sempre as piores situações.

A elaboração de um manual de boas práticas, relativo à exposição a CEM em processos de soldadura, seria também muito útil para ajudar os soldadores e os empregadores a cumprirem as suas obrigações nesta matéria e a implementarem medidas de prevenção e proteção.

Por outro lado, a divulgação de trabalhos nesta área junto da comunidade empresarial é também benéfica pela discussão que naturalmente surgirá.

As medições efetuadas no âmbito deste trabalho, apesar de não serem suficientemente abrangentes para englobar a diversidade dos equipamentos de soldadura que existem no mercado, constituem já referencial relativamente à exposição a CEM que poderemos encontrar em diversas empresas.

Seria útil alargar estes estudos a outros equipamentos/tecnologias de soldadura e, devendo as medições serem feitas a diferentes intensidades de corrente de soldadura e, sempre que possível à máxima.

Relativamente ao equipamento utilizado, seria útil em futuros trabalhos incluir alguns acessórios, de modo a tornar as medições mais fáceis e mais precisas. Assim, deveriam ser incluídos os seguintes opcionais:

- Tripé de alumínio (referência do fabricante n.º 281) – permite o posicionamento mais fácil, cómodo e estável do equipamento, junto à fonte, nomeadamente cabos e máquina. Para medições junto à tocha e soldador, o equipamento terá sempre que ser operado manualmente pois a mudança de posição é constante.
- Bateria recarregável de 3000 mAh (referência do fabricante n.º 254) – de acordo com o fabricante esta bateria tem uma autonomia de 6 a 8 h. A bateria que equipa de série o equipamento (1300 mAh), apresenta na prática uma autonomia de cerca de 90 minutos (anunciada pelo fabricante 90 a 120 minutos), o que é manifestamente pouco para a execução deste tipo de medições.

Seria também desejável a utilização de um cabo USB de interface entre o computador e o NF-5035 com cerca de 2 m, pois o que é fornecido com o equipamento apenas tem 1 m, o que se revela pouco cómodo para medições junto ao operador.

Para facilitar a recolha de dados e tornar as medições mais objetivas e precisas, seria recomendável o uso de uma pinça amperimétrica, capaz de medir a intensidade de corrente de soldadura que atravessa os cabos que ligam a máquina à tocha, complementada por um osciloscópio capaz de detetar as componentes de frequência da corrente de soldadura.

Seria também útil efetuar medições ao longo de um dia de trabalho (1 turno), por exemplo junto aos cabos de soldadura e em cada um dos processos em estudo, de modo a verificar a consistência dos resultados obtidos ao longo de um turno completo e determinar assim a exposição média diária.

Para além disso, seria também interessante determinar uma estimativa do nível de exposição ao longo da vida - LE (Man, 2007), uma vez que desta forma são tidos em conta os tempos de exposição cumulativos. De facto, em muitas situações práticas existem soldadores que estão praticamente 8 horas por dia a soldar e noutros casos estas tarefas têm uma duração muito curta o que deverá influenciar os efeitos adversos sobre a saúde. Para tal, é fundamental conhecer todo o histórico de exposição do soldador (número de anos de exposição, duração média das atividades de soldadura ao longo dos anos, tipos de processos de soldadura a que esteve exposto, nível de exposição médio de cada processo), complementado eventualmente por informação sobre a exposição a CEM de outras fontes relevantes. Obtidos os valores de LE seria útil poder compará-los com os calculados para outros setores ou aplicações.

8 BIBLIOGRAFIA

Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis J, Olsen JH, Tynes T, Verkasalo PK; 2000. A Pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer* 83, p. 692-698.

Allen SG, Blackwell RP, Chadwick PJ, Driscoll CMH, Pearson AJ, Unsworth C and Whillock MJ; 1994. Review of ocupacional exposure to optical radiation and electric and magnetic fields with regard to the proposed CEC Physical Agents Directive. NRPB-R265.

Bowman JD, Garabrant DH, Sobel E, Peters JM; 1988. Exposure to extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields in occupations with elevated leukemia rates, *Appl. Ind. Hyg.* Vol. 3, No. 6.

Cooper TG; 2002. Occupational exposure to electric and magnetic fields in the context of the ICNIRP guidelines, NRPB-W24.

Demaret P; 2013. Effets biologiques des rayonnements électromagnétiques – 7^e Conférence internationale, La Valette, Malte. INRS TD 196, p. 91- 99

Direção-Geral da Saúde, 2007. Sistemas de Comunicações Móveis – Efeitos na Saúde.

Doebbelin R, Winkler T, Mecke H, Czarnecki TK; 2002. Measurement and evaluation of pulsating environmental magnetic fields by the example of resistance welding installations. *Int. Conf. on electromagnetic compability, China.*

Dughiero F, Forzan M, Sieni E, 2010. Evaluation of the Exposure to Magnetic Field Generated by Welding Equipment. *CEDRAT News* N.º 59.

Durney CH, Massoudi H, Iskander MF; 1985. Radiofrequency radiation dosimetry handbook. Brooks Air Force Base, TX: U.S. Air Force School os Aerospace, Medical Division; Reg. No. SAM-TR-85-73.

EWA (European welding Association), 2011. Position on the revision of Directive 2004/40/CE (EMF), Bulletin EWA/TC EQU/028/Doc, Oct. 18. <http://www.european-welding.org/>.

Floderus B, Persson T, Stenlund C., 1996. Magnetic field exposures in the workplace: reference distribution and exposure in ocupacional groups. *Int. J. Occup. Environ. Health*, 2: p. 226-238.

Grassi F, Spadacini G, Pignari SA; 2012. Human Exposure in Arc-Welding Processes: Current versus previous ICNIRP Basic Restrictions, *IEEE*.

Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA; 2000. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiol* 11, p. 624-634.

Hakansson N, Floderus B, Gustavsson P, Johansen C, Olsen JH; 2002. Cancer incidence and magnetic field exposure in industries using resistance welding in Sweden, *Occup. Environ. Med.* 59, p. 481-486.

Hakansson N, Stenlund C, Gustavsson P, Johansen C, Floderus B; 2005. Arc and resistance welding tumours of the endocrine glands: a Swedish case-control study with focus on extremely low frequency magnetic fields, *Occup. Environ. Med.* 62, p. 304-308.

Herrault J, Donati P; 2006. Soudage par résistance – cartographie du champ magnétique et prévention. INRS, ND 2252 – 204, p. 21-31.

HPA (Health Protection Agency); 2012, UK. Disponível em,

<http://www.hpa.org.uk/Topics/Radiation/UnderstandingRadiation/UnderstandingRadiationTopics/ElectromagneticFields/ElectricAndMagneticFields/SourcesAndExposureToElectricAndMagneticFields/>, acesso em 24 nov.

Huss A, Spoerri A, Egger M, Rösli M; 2009. Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population. *Am J Epidemiol* 169, p. 167-175.

IARC; 2000. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 75: Ionizing radiation, Part 1: X – and gamma (γ) – radiation and neutrons. Lyon, France.

IARC; 2002. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 80: Non ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. Lyon, France.

IARC; 2011. Iarc classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans. Press release N.º 208, 6 p.

ICNIRP; 1998. Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz), *Health Physics*, vol. 74, n.4, p. 494-522.

ICNIRP; 2009. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields

ICNIRP; 2010 – Guidelines for limiting exposure to time varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz), *Health Physics*, vol. 99, n.6, p. 818-836.

Kamil JA; 2012. Measurement of magnetic fields emitted from welding machines. *Diyala Journal of Engineering Sciences*. Vol. 05, N.º 02, p. 114-128.

Keiser G, 2000. Optical Fiber Communications.

Kheifets L, Ahlbom A, Johansen C, Feychting M, Sahl J, Savitz D; 2007. Extremely low-frequency magnetic fields and heart disease. *Scand J Work Environ Health* 33(1), p. 5-12.

Kheifets L, Bowman JD, Checkoway H, Feychting M, Harrington JM, Kavet R, Marsh G, Mezei G, Renew DC, Wijngaarden E; 2009. Future needs of occupational epidemiology of extremely low frequency electric and magnetic fields: review and recommendations *Occup Environ Med* 66(2), p.72-80.

Klein R; 2012. Réduction du rayonnement électromagnétique des soudeuses haute fréquence de conception ancienne a l'aide d'un patin de masse. INRS, ND 2360 – 227, p. 39-51.

Mair P; 2005. Assessment of EMF (Electromagnetic Fields) and biological effects in arc welding applications. Fronius International GmbH, Wels, Austria.

Mair P; 2006. Effects on the Human Body and Assessment Methods of Exposure to Electro-Magnetic-Fields Caused by Spot Welding. Fronius International GmbH, Wels, Austria.

Man AK, Shahidan R; 2007. Variations in Occupational Exposure to Magnetic Fields Among Welders in Malaysia. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 128, No. 4, p. 444-448.

Melton GB; 2005. Measurement and analysis of magnetic fields from welding processes. TWI Ltd.

Nadeem M, Hamnerius Y, Mild KH, Persson M; 2004. Magnetic Field From Spot Welding Equipment – Is the Basic Restriction Exceeded? Bioelectromagnetics 25, p. 278-284.

NRPB (National Radiological Protection Board), 2001. ELF Electromagnetic Fields and Risk of Cancer. Report of an Advisory Group on Non-ionizing Radiation. Vol. 12, n.º 1; 170 p.

OMS, 2002. Estabelecendo um Diálogo Sobre Riscos de Campos Eletromagnéticos. Tradução de Borges HA; Genebra.

OMS, 2006. Static Fields. Environmental Health Criteria 232

OMS. 2012. What are Electromagnetic fields? Disponível em: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/>, acesso em 24 de Nov.

OMS. 2012. Ionizing Radiation in our Environment. Disponível em: http://www.who.int/ionizing_radiation/env/en/, acesso em 24 de Nov.

Reilly J; 1998. Applied bioelectricity: from electrical simulation to electropathology, New York: Springer-Verlag.

SAEFL (Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape), 2005. Electrosmog in the Environment.

Sekino YS, Ojima J, Sekino M, Hojo M, Saito H, Okuno T, 2011. Measuring Exposed Magnetic Fields of Welders in Working Time. Industrial Health, 49, p. 274-279.

Seze D, Courtin C, Gruet P, Becker A, Bisseriex, Bonnet, Cabaret, Castro, Demaret P, Donati P, Ganem, Laurent, Berre, Marteau, Moureaux, Tirlemont; 2013. Exposition des travailleurs aux risques dus aux champs électromagnétiques – Guide d'évaluation des risques. INRS, 33 p.

Silny J, Aspacher KG, Dilthey U, Heidrich J, Ahrend M; 2001. Electromagnetic environmental compatibility of resistance spot welding installations, welding and cutting Vol. 53, No. 5.

Skotte JH and Hjollund HI; 1997. Exposure of welders and other metal workers to ELF magnetic fields, Bioelectromagnetics 18, p. 470-477.

Stuchly MA and Lecuyer DW; 1989. Exposure to electromagnetic fields in arc welding. Health Physics, Vol. 56, n.º 3.

Wertheimer N and Leeper E; 1979. Electrical wiring configurations and childhood cancer. American Journal of Epidemiology. 109 (3), p. 273-284.

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO A – FIGURAS REFERENTES AOS LOCAIS DE TRABALHO OBJETO DE MEDIÇÃO

A.1. FACOSTA – Indústria de Cortantes para o Calçado, Lda



Figura A.1–Aspeto geral da Facosta



Figura A.2–Medição junto às mãos/tocha



Figura A.3–Medição junto à cabeça



Figura A.4–Parâmetros de regulação da máquina



Figura A.5–Bancada de trabalho–mesa magnética



Figura A.6–Cortantes para a indústria do calçado

A.2. CANCE – Construções Metálicas, Lda

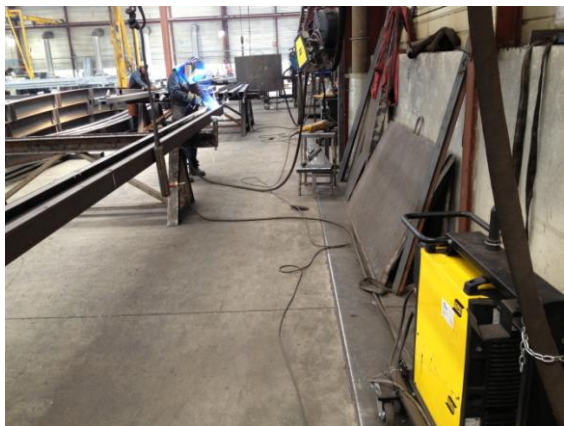


Figura A.7–Aspeto geral da área de soldadura

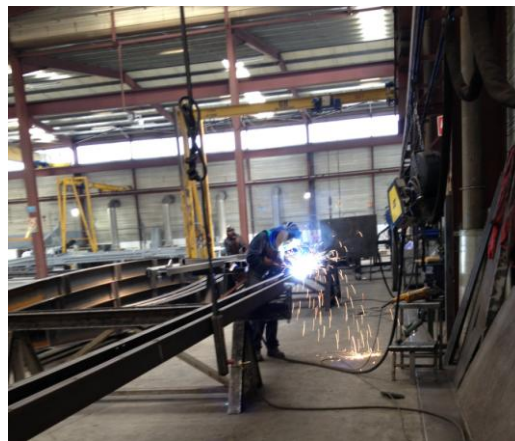


Figura A.8–Soldadura de estrutura metálica tipo



Figura A.9–Postura do soldador (corpo junto ao cabo)



Figura A.10–Postura do soldador (corpo inclinado)



Figura A.11–Medição junto à cabeça



Figura A.12–Medição junto ao cabo



Figura A.13–Soldadura de pilar estrutural de um edifício



Figura A.14–Pormenores das soldaduras



Figura A.15–Parâmetros durante as medições



Figura A.16– Parâmetros durante as medições

A.3. CAETANO BAVIERA, SA



Figura A.17–Aspecto geral do posto de trabalho



Figura A.18–Medição a 20 cm do cabo

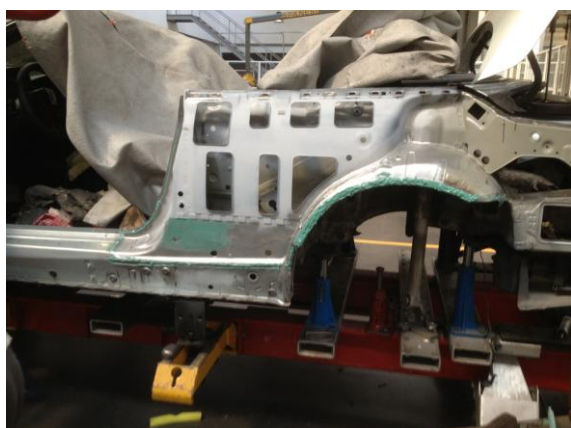


Figura A.19–Veículo em reparação objeto dos ensaios



Figura A.20–Parâmetros de soldadura



Figura A.21–Veículo em reparação-evolução do processo



Figura A.22–Pinça de soldadura da WEL 750

ANEXO B

ANEXO B-TABELA SÍNTESE DAS MEDIÇÕES EFETUADAS

B.1. FACOSTA – Indústria de Cortantes para o Calçado, Lda

Tabela B.1 – Tabela síntese das medições efetuadas na máquina de soldar MIG/MAG ESAB MIG C280

Máquina: ESAB MIG C280, regulada na gama: [140 - 175A]; fio de 0,8 mm; 9-10 m/min; 98% Argon + 2% CO2		Distância														
		a 1 cm de			a 20 cm de			a 50 cm de			a 1 m de			a 2m de		
Posição de medição	frequência	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]
Cabos de soldadura	0 Hz	760,30	605,00	-	463,90	369,10	-	141,00	112,20	-	79,18	63,01	-	75,60	60,16	-
	0 Hz	484,30	385,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	49 Hz	-	-	835,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	51,3 Hz	-	-	180,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	53 Hz	225,70	179,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	53,1 Hz	191,00	152,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	98 Hz	94,95	75,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	108,8 Hz	-	-	60,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	204,4 Hz	48,61	38,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	206,8 Hz	-	-	221,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máquina (laterais)	0 Hz	108,50	86,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0 Hz	74,25	59,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máquina (lateral c/ cabos)	0 Hz	496,00	394,66	-	477,90	380,30	-	71,76	57,11	-	62,30	49,58	-	-	-	-
	0 Hz	375,40	298,70	-	-	-	-	-	-	-	61,91	49,27	-	-	-	-
Tocha	0 Hz	480,00	382,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0 Hz	374,80	298,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cabeça	0 Hz	322,30	256,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peito/Cintura	0 Hz	231,00	183,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mesa magnética	0 Hz	773,20	615,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: Foi também efetuada uma medição do campo estático junto à mesa magnética.

B.2. CANCE – Construções Metálicas, Lda

Tabela B.2 – Tabela síntese das medições efetuadas na máquina de soldar MIG/MAG ESAB MIG 5004i

Máquina: ESAB MIG 5004i, regulada na gama: [26,2 V/265 A - 29 V/285A]; fio de 1,2 mm; 10-12 m/min; 75% Argon + 25% CO2		Distância														
		a 1 cm de			a 20 cm de			a 50 cm de			a 1 m de			a 2m de		
Posição de medição	frequência	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]
Cabos de soldadura	0 Hz	761,70	606,20	-	185,00	147,20	-	105,00	83,60	-	76,47	60,85	-	66,05	52,56	-
	0 Hz	674,70	536,90	-	96,60	76,87	-	85,00	67,60	-	39,00	31,00	-	-	-	-
	0 Hz	605,00	481,50	-	78,51	62,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0 Hz	350,00	278,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	45 Hz	133,00	105,80	-	-	-	-	70,92	56,44	-	-	-	-	-	-	-
	45 Hz	111,10	88,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	46,6	116,70	92,89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	47,8	-	-	273,20	-	-	-	70,68	56,25	-	-	-	-	-	-	-
	49,8	-	-	-	-	-	-	-	-	735,90	-	-	-	-	-	-
	50,2	111,10	88,38	-	-	-	714,90	-	-	-	-	-	716,20	-	-	-
	51,4 Hz	-	-	828,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	53,4 Hz	116,30	92,54	108,30	77,85	61,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	54,2 Hz	93,05	74,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	56,2 Hz	104,40	83,09	95,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	80 Hz	1,60	1,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	98 Hz	6,37	5,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	132 Hz	60,00	47,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	154 Hz	49,34	39,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	238 Hz	-	-	185,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	242,8 Hz	-	-	165,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	281,8 Hz	26,20	20,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	427,8 Hz	3,00	2,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1220 Hz	0,70	0,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1540 Hz	1,12	0,89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1800 Hz	1,14	0,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4000 Hz	0,70	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4490 Hz	0,54	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7600 Hz	0,29	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12,6 kHz	0,10	0,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	28,08 kHz	0,59	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	55,96 kHz	4,20	3,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	111,52 kHz	1,69	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	169,5 kHz	2,23	1,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	398,4 kHz	2,37	1,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	918 kHz	0,69	0,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máquina (laterais)	0 Hz	214,90	171,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máquina (lateral c/ cabos)	0 Hz	485,00	386,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tocha	0 Hz	635,50	505,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0 Hz	285,00	226,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	53,4 Hz	82,16	65,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	139,6 Hz	-	-	17,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	173 Hz	-	-	39,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cabeça	245,2 Hz	-	-	10,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0 Hz	105,00	83,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	137,2 Hz	-	-	5,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peito/Cintura	146,8 Hz	1,70	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0 Hz	495,00	394,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

B.3. CAETANO BAVIERA, SA

Tabela B.3 – Tabela síntese das medições efetuadas na máquina de soldar por resistência Blackhawk/Compuspot WEL 750 (transformador remoto) – pinça em C

Máquina: WEL 750, regulada na gama: [8100 A; 300 ms; 67%]; 400 daN		Distância														
		a 1 cm de			a 20 cm de			a 50 cm de			a 1 m de			a 2m de		
Posição de medição	frequência	B [μ T]	H [A/m]	E [V/m]	B [μ T]	H [A/m]	E [V/m]	B [μ T]	H [A/m]	E [V/m]	B [μ T]	H [A/m]	E [V/m]	B [μ T]	H [A/m]	E [V/m]
Cabos de soldadura	0 Hz	646,80	514,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0 Hz	591,00	470,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	53,8 Hz	95,49	75,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1004 Hz	1,37	1,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1076 Hz	0,65	0,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1992 Hz	7,97	6,34	88,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2014 HZ	-	-	89,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2102 HZ	0,35	0,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máquina (laterais)	0 Hz	190,00	151,20	-												
	53,8 Hz	115,70	92,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	968 Hz	10,40	8,27	-	3,20	2,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	980 Hz	0,60	0,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1222 Hz	-	-	14,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máquina (lateral c/ cabos)	0 Hz	591,00	470,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1992 Hz	-	-	30,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tocha	0 Hz	590,40	469,80	-												
	49,5 Hz	2,60	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50,6 Hz	-	-	278,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	53,8 Hz	111,20	88,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	54,2 Hz	-	-	140,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	84,6 Hz	-	-	20,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	968 Hz	-	-	12,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1064 Hz	1,23	0,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1200 Hz	-	-	23,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1304 Hz	-	-	-	0,14	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cabeça	0 Hz	95,00	76,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	53,8 Hz	108,00	86,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela B.4 – Tabela síntese das medições efetuadas na máquina de soldar por resistência Blackhawk/Compuspot WEL 750 (transformador remoto) – Monoponto

Máquina: MONOPONTO WEL 750, regulada na gama: [8600 A; 70 ms; 85%]		Distância														
		a 1 cm de			a 20 cm de			a 50 cm de			a 1 m de			a 2m de		
Posição de medição	frequência	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]	B [μT]	H [A/m]	E [V/m]
Cabos de soldadura	0 Hz	1064,50	847,10	-	510,00	405,80	-	494,50	393,50	-	-	-	-	-	-	-
	0 Hz	237,50	189,00	-	-	-	-	-	-	-						
	0 Hz	375,90	299,10	-	247,00	196,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máquina (lateral c/ fios)	0 Hz	237,50	189,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tocha	0 Hz	375,90	299,10	-	247,00	196,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ANEXO C

ANEXO C-FIGURAS DAS MEDIÇÕES MAIS RELEVANTES EFETUADAS

C.1. FACOSTA – Indústria de Cortantes para o Calçado, Lda



Figura C.1-Medição junto aos cabos. $B=760,3 \mu T$; $H=605 A.m^{-1}$; $f=0 Hz$

(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu T$ – Perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 mT$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 mT$)).



Figura C. 2-Medição à distância de 20 cm dos cabos. $B=463,9 \mu T$; $H=369,1 A.m^{-1}$; $f=0 Hz$

(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu T$ – Logo, não há perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 mT$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 mT$)).



Figura C. 3-Medição à distância de 50 cm dos cabos. $B=141,0 \mu\text{T}$; $H=112,2\text{A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$
(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Logo, não há perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).



Figura C. 4-Medição à distância de 1 m dos cabos. $B=79,18 \mu\text{T}$; $H=63,01\text{A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$
(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Logo, não há perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).



Figura C. 5-Medição à distância de 2 m dos cabos. $B=75,6 \mu\text{T}$; $H=60,16\text{A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$

(Diretiva 2013/35/UE $VLE= 2 \text{ T}$ (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Logo, não há perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).



Figura C. 6-Medição junto aos cabos. $E=835,1 \text{ V.m}^{-1}$; $f= 49 \text{ Hz}$

(Diretiva 2013/35/UE $NA_{\text{BAIXO}} = 5 \times 10^5 / f = 10.204 \text{ V.m}^{-1}$; $NA_{\text{ALTO}} = 2,0 \times 10^4 \text{ V.m}^{-1}$ (valores quadráticos médios); $\frac{835,1}{\sqrt{2}} = 590,5 \text{ V.m}^{-1}$, logo está abaixo do NA.

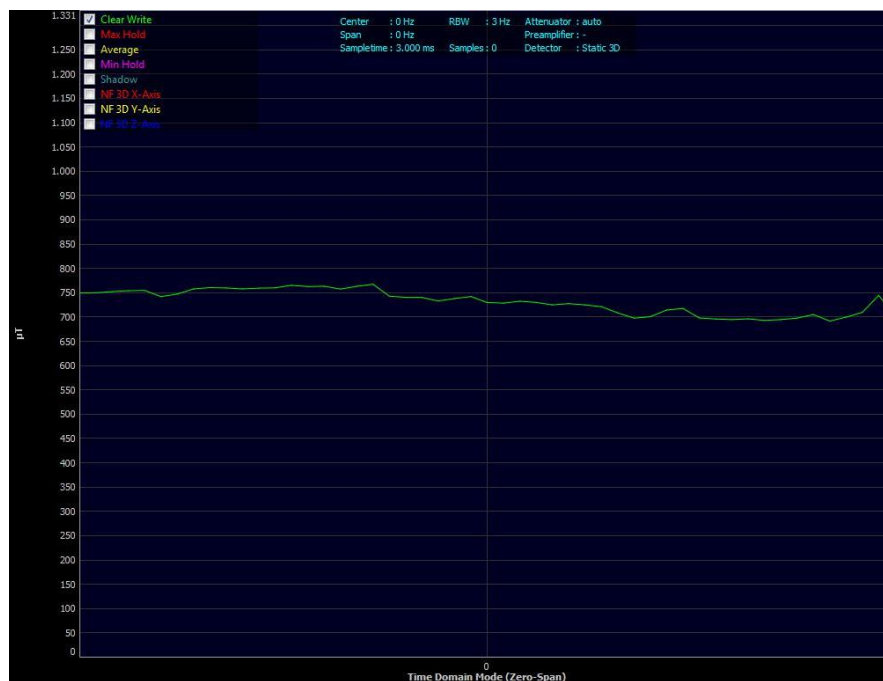


Figura C. 7-Medição junto à mesa magnética. $B=773,2 \mu\text{T}$; $H=615,30\text{A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$

(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).

C.2. CANCE – Construções Metálicas, Lda

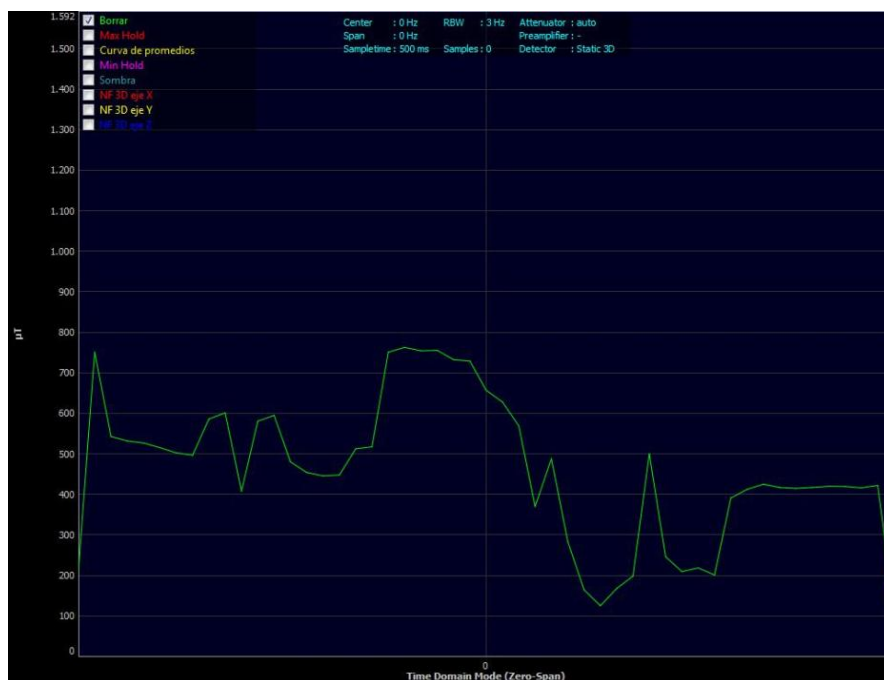


Figura C. 8-Medição junto aos cabos. $B_0=761,7 \mu\text{T}$; $H= 606,2 \text{ A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$

(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).



Figura C. 9-Medição a 20 cm dos cabos. $B_0=185 \mu\text{T}$; $H=147,2 \text{ A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$

(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Logo, não há perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).



Figura C. 10-Medición a 50 cm dos cabos. $B_0=105 \mu\text{T}$; $H=83,6 \text{ A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$

(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Logo, não há perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).



Figura C. 11-Medición a 1 m dos cabos. $B_0=76,47 \mu\text{T}$; $H= 60,85 \text{ A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$

(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Logo, não há perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).



Figura C. 12-Medição a 2 m dos cabos. $B_0=66,05 \mu\text{T}$; $H= 52,56 \text{ A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$

(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Logo, não há perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).



Figura C. 13-Medição junto à tocha. $B_0=635,5 \mu\text{T}$; $H= 505,7 \text{ A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$

(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).

C.3. CAETANO BAVIERA, SA – Pinça em C



Figura C. 14-Medição junto aos cabos. $B=646 \mu\text{T}$; $H=514,7 \text{ A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$

(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).



Figura C. 15- Medição junto à tocha. $B=590,4 \mu\text{T}$; $H=469,8 \text{ A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$

(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).

C.4. CAETANO BAVIERA, SA – Monoponto

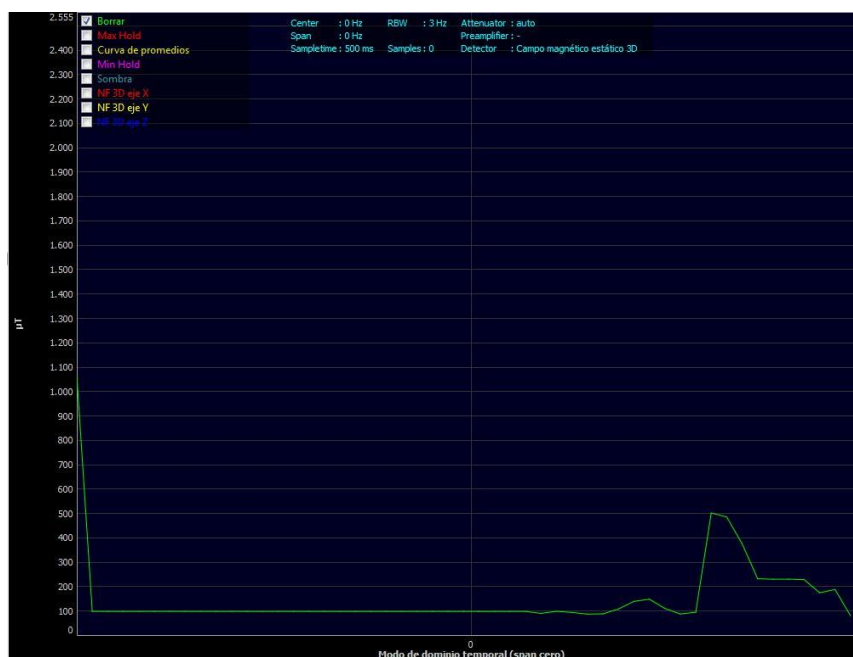


Figura C. 16-Medição junto aos cabos. $B=1.064,5 \mu\text{T}$; $H=847,1 \text{ A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$

(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).



Figura C. 17-Medição junto à tocha. $B= 375,9 \mu\text{T}$; $H=299,1 \text{ A.m}^{-1}$; $f=0 \text{ Hz}$

(Diretiva 2013/35/UE VLE= 2 T (Condições normais de trabalho); $NA(B_0) = 500 \mu\text{T}$ – Logo, não há perigo de interferência em implantes médicos ativos (ex.: estimuladores ativos); $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ – Logo, não há risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$)).